CITTA' DI TORINO

PIANO ESECUTIVO CONVENZIONATO
AI SENSI DELL'ART. 43
L.R. n. 3 DEL 25/03/2013

ZONA URBANA DI TRASFORMAZIONE
Ambito 12.34 CENTRALE DEL LATTE
SUB-AMBITO 1

RELAZIONE GEOLOGICA

EMISSIONE n. : 02	DATA : giugno 2015

DOTT.SSA GEOL.
GOFFI STEFANIA
Via F.lli Girotto 4,
10051 Avigliana (TO)
tel. 011.9342377

PROPRIETA':

"Centrale del Latte di Torino & C. S.p.A."

Dott.ssa STEFANIA GOFFI
GEOLOGO
Via F.lli Girotto n. 4 - AVIGLIANA (TO)

1. PREMESSA

La presente relazione geologica è relativa al Piano Esecutivo Convenzionato in Zona Urbana di Trasformazione – Ambito 12.34 Centrale del Latte – Sub-Ambito 1, nella Città di Torino in Via Filadelfia – Via Baltimora (cfr. Tavv. 1 – 2).

Tale relazione è redatta in base a quanto disposto dalle Norme Tecniche vigenti per le Costruzioni (D.M. 14.01.2008) ed ha perseguito le seguenti finalità:

- caratterizzazione geologica del sito, propedeutica alla progettazione geotecnica, consistente nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio;
- valutazione di compatibilità del progetto con le problematiche evidenziate dagli studi geologici a supporto del P.R.G.C. vigente;
- identificazione delle problematiche inerenti la vulnerabilità sismica del territorio e la risposta sismica locale.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1. Geologia, Geomorfologia ed Idrografia

La “Pianura piemontese settentrionale”, che si sviluppa fra il bordo alpino a nord ed il margine collinare dei rilievi della Collina di Torino e del Monferrato verso Sud, è formata da ampie e piatte conoidi fluvioglaciali, raccordate verso monte con gli archi morenici, che costituiscono il prodotto del trasporto, da parte della rete idrografica pleistocenica, di depositi abbandonati dai ghiacciai, a valle degli apparati morenici, in epoca glaciale o interglaciale. Sulla base delle attuali conoscenze, tali depositi hanno una potenza variabile da alcune decine di metri fino a un massimo di 300 m; essi sono normalmente sovrapposti alle formazioni del Villafranchiano e talora, lungo il bordo alpino, anche alle formazioni plioceniche e pre-plioceniche. L’assetto geomorfologico pleistocenico è stato, infine, modificato profondamente dalle incisioni provocate dalla rete idrografica attuale.

Lo stabilimento della Centrale del Latte di Torino si localizza nel settore sud-occidentale della Città di Torino, sull’alto terrazzo fluvioglaciale rissiano che costituisce il livello fondamentale della pianura ad occidente di Torino e che ricopre il più antico fluvioglaciale Mindel.

I terreni affioranti sono tutti di ambiente continentale e risalgono al periodo Pleistocenico dell’Era Quaternaria. Sono costituiti prevalentemente da materiali ghiaiosi, sabbiosi e limosi con presenza talvolta di ciottoli silicatici, silicei e calcarei di grosse dimensioni. Nella loro parte sommitale sono caratterizzati dalla presenza di un paleosuolo rosso-arancio tendente al bruno, limoso argilloso. Alcuni livelli ghiaioso-sabbiosi risultano fortemente cementati, ma non sono continui e presentano uno spessore in diminuzione dal bordo alpino a quello collinare. La zona di maggior distribuzione è compresa principalmente tra i corsi del Fiume Dora Riparia e del Torrente Sangone.

Al di sotto dei terreni fluvioglaciali affiorano i depositi del Villafranchiano, granulometricamente fini, costituiti da alternanze di limi ed argille di ambiente lacustre.

Seguono le formazioni plioceniche e pre-plioceniche, depositate in ambiente marino, costituite da sabbie e subordinati livelli argillosi.

Più in dettaglio, la conformazione geologica superficiale dell'area di intervento può essere dedotta dalle informazioni contenute nel Foglio 155, "Torino Ovest", della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000, di cui si riporta un estratto in Tav. 3 e Tav. 4. Sulla base di questo documento si ricava che presso il sito in esame il sottosuolo è costituito da sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con clasti eterometrici di quarziti, serpentiniti, gneiss e subordinatamente di prasiniti, calcescisti e marmi grigi (depositi fluvioglaciali – Pleistocene inferiore-Olocene) appartenenti al Subsintema di Col Giansesco – Sintema di Frassinere.

Secondo la Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica" facente parte degli elaborati geologici riferiti al P.R.G. della Città di Torino (cfr. Tav. 5 – Tav. 6), il sito di intervento ricade in classe "I (P)". Con la denominazione classe "I (P)" si intendono zone di pianura non soggette a pericolo di inondazione né di allagamento. In questa classe ricadono quindi le porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alle scelte urbanistiche: gli interventi sia pubblici che privati sono di norma consentiti nel rispetto delle prescrizioni del D.M. 11/03/88 e del D.M. 14.1.2008 "Approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni".

Secondo la cartografia "Sigeo On Line di A.R.P.A. Piemonte - Analisi dei dati ottenuti con tecnologia radar-satellitare PSInSAR^{TM}", l'area di intervento non ricade all'interno della perimetrazione di aree definite "anomale". Con tale definizione sono intese aree soggette ad abbassamenti, lungo la direzione di vista del satellite, per consolidazione dei terreni, estrazione di fluidi, dissoluzione, fluidificazione, instabilità, ecc..

Il sito di intervento è ubicato, ad una quota media di circa 255 m s.l.m., in sinistra idrografica del Fiume Po. L'area, subpianeggiante, con blande ondulazioni, è interamente compresa in un settore la cui morfologia originaria è di tipo fluvioglaciale sulla quale si è sovrapposto il modellamento operato dal reticolato idrografico attuale che ne ha determinato il terrazzamento; la stessa superficie è pertanto sospesa rispetto al reticolato idrografico locale rappresentato da Fiume Po di oltre 20 m. Nel dettaglio la morfologia originaria risulta alterata dall'intervento antropico con l'edificazione.

L'idrografia principale nell'area significativa circostante il sito di previsto intervento è costituita dal Fiume Po il cui alveo ben definito è ubicato alla distanza di oltre 3 km verso

est ed è separato dalla stessa da significative scarpate di terrazzo con un dislivello totale di oltre 20 m.

Nell'area significativa circostante il sito di intervento, durante il sopralluogo, non sono state rilevate tracce di instabilità, in atto o potenziali, del terreno e/o lesioni sulle infrastrutture esistenti imputabili a cause geologiche, né tracce di alluvionamenti recenti.

2.2. Stratigrafia e Idrogeologia

La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico dell'area di intervento è stata desunta grazie ai numerosi dati disponibili in letteratura, dalla stratigrafia di un pozzo (Pozzo TO-P-04634) presente all'interno della proprietà della Centrale del Latte e da stratigrafie di sondaggi, pozzi e prove penetrometriche eseguite in aree adiacenti, in ambiente geologicamente analogo, alcune delle quali presenti nella Banca Dati Geotecnica di Sigeo On Line di A.R.P.A. Piemonte.

La successione sedimentaria è costituita da ghiaie e ghiaie grossolane, talora con intercalazioni conglomeratiche e cementate, passanti in profondità a ghiaie sabbiose e sabbie. Lo spessore di questi depositi, fluvioglaciali Riss-Mindel, è variabile da 30 a 60 m.

Al di sotto si ha la presenza di intercalazioni di argille e sabbie con locali livelletti di ghiaia minuta; tali depositi sono riconducibili ai depositi fluvio-lacustri villafranchiani e sono presenti mediamente fino a 80-120 m.

Seguono i depositi marini pliocenici costituiti da sabbie ed argille gialle.

Sotto il profilo idrogeologico, tutti i corpi sedimentari costituiti da depositi alluvionali grossolani o depositi fluviali sabbiosi rappresentano degli ottimi acquiferi nei quali possono essere ospitate falde libere o in pressione. Nella pianura padana il materasso alluvionale, con il comparire delle intercalazioni impermeabili, via via più spesse e continue, tende a frazionarsi in una serie di acquiferi separati, dando luogo ad un complesso sistema multifalde, delle quali la prima libera e le altre in pressione.

La struttura idrogeologica, andando dai termini più recenti a quelli più antichi, può essere così schematizzata:

- Unità Olocenico-Pleistocenica. Si tratta di sedimenti sciolti, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi e subordinatamente limoso-argillosi con livelli cementati, di origine

fluviale (Olocene) e fluvioglaciali (Pleistocene superiore). La granulometria diminuisce dai bordi pedemontani verso l'asse di drenaggio delle pianura rappresentato dal Po. Sono sedimenti permeabili o semipermeabili per porosità contenenti falde libere, confinate e semiconfinate. Lo spessore va da qualche decina di metri ad alcuni metri;

- Unità Villafranchiana. Si tratta di depositi prevalentemente lacustri e fluviolacustri affioranti ai piedi dell'arco alpino. Sotto il profilo idrogeologico si tratta di un complesso litostratigrafico formato dall'alternanza di depositi ben permeabili (ghiaie) ed impermeabili (limi ed argille con intercalazioni torbose o, comunque, ricche di sostanza organica di origine vegetale). Questa successione di terreni con caratteristiche di permeabilità molto diverse, determina la formazione di un acquifero multistrato costituito da un sistema di falde in pressione contenute nei livelli a granulometria più grossolana, separate tra loro dai livelli limoso-argillosi, che fungono da setti impermeabili. L'acquifero Villafranchiano è il più sfruttato a livello idropotabile, sia a motivo della buona produttività, sia delle buone caratteristiche di protezione intrinseca che presenta nei confronti di una eventuale propagazione di inquinanti dalla superficie. Lo spessore totale della sequenza villafranchiana può raggiungere valori massimi di 150-200 m;
- Unità Pliocenica. Si tratta di un complesso formato da sedimenti di ambiente marino e costituito da sabbie, più o meno omogenee, con caratteristiche di medio-buona permeabilità (Facies Astiana) e da argille e limi (Facies Piacenziana) che si comportano da livelli impermeabili. La parte sabbiosa contiene un sistema di falde idriche, con caratteristiche che vanno dalla falda a superficie libera a falde in pressione, a seconda del grado di confinamento;
- Unità PrePliocenica. Si tratta di una serie marina prepliocenica, formata essenzialmente da sedimenti di tipo marnoso-arenaceo impermeabili o localmente permeabili per fessurazione.

L'alimentazione delle suddette falde idriche avviene in parte per infiltrazione diretta delle acque di precipitazione atmosferica, specialmente per quanto riguarda la falda freatica, ma la parte preponderante è quella che proviene dalla dispersione nel sottosuolo delle acque del reticolo idrografico principale in corrispondenza del margine alpino della pianura.

Il livello piezometrico, misurato in un pozzo presente all'interno della proprietà della Centrale del Latte, è pari a circa – 26 m dal p.c..

Tale pozzo risulta però fenestrato a partire da 32 m di profondità e quindi non si può escludere la presenza di una falda acquifera a profondità inferiori.

Durante l'esecuzione di sondaggi nelle vicinanze, è stata talora rilevata la presenza della falda acquifera con una soggiacenza media pari a 16 m dal p.c..

Pertanto, alla luce delle conoscenze attuali, si possono escludere interazioni delle opere in progetto con la falda acquifera.

2.3. Indagini geotecniche in sito

In questa fase progettuale, considerato che la Centrale del Latte è regolarmente in funzione e non è possibile realizzare delle indagini troppo invasive, che limiterebbero e ostacolerebbero la produzione, non è stato possibile realizzare tutte le indagini geognostiche necessarie a caratterizzare, con precisione, geologicamente e idrogeologicamente il sottosuolo dell'area di intervento.

Si è pertanto deciso di realizzare solamente un'indagine geofisica di tipo sismico, MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), il cui scopo è definire il parametro Vs_{30} per la classificazione sismica dei suoli, in accordo con il D.M. 14.01.2008 e successivi aggiornamenti.

Nella fase progettuale successiva sarà opportuno realizzare almeno n. 2 sondaggi a carotaggio continuo, che raggiungano una profondità di almeno 20 m, con prove SPT in foro. Per permettere il monitoraggio della falda acquifera si dovrà inoltre attrezzare un sondaggio con piezometro, ai sensi del comma 20 dell'art. 5 delle NUEA.

Tali indagini permetteranno di definire con maggior precisione le caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti nell'area di intervento e la posizione della falda acquifera. Le indagini dovranno essere realizzate contestualmente alla realizzazione delle indagini ambientali, in modo da ottimizzare le risorse, creando meno disagio possibile per la committenza.

Sulla base dell'analisi del profilo di velocità delle onde sismiche della prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), realizzata nell'area di intervento (cfr. Allegato

1), si può definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica “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 Vs_{30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s, ovvero N_{SPT} > 50 nei terreni a grana grossa e cu > 250 kPa nei terreni a grana fina.

3. ELABORAZIONE DEI DATI

3.1. Definizione del modello di terreno

Sulla base dei rilievi e delle indagini effettuate, è possibile definire con sufficiente certezza il modello del terreno nell'ambito significativo comprendente l'area su cui insistono le opere in oggetto.

La stratigrafia locale risulta caratterizzata come segue:

Unità litologica	Descrizione	Profondità base
A	Coltre eluvio-colluviale costituita da matrice fine, con percentuale variabile di scheletro grossolano, con materiale di riporto e pavimentazioni	~ 1,5 m dal p.c.
B	Alternanze di sabbia fine con ghiaia piccola e di ciottoli e ghiaia con sabbia debolmente limosa	~ 5 m dal p.c.
C	Alternanze plurimetriche di livelli ghiaioso sabbiosi con ciottoli e livelli di ghiaia con sabbia debolmente limosa, talora localmente cementati (conglomerati)	~ 20 m dal p.c.

La profondità del tetto del substrato roccioso non è nota, ma è sicuramente superiore a 30 m dal p.c..

3.2. Individuazione del piano di posa ottimale

Il piano fondazionale dovrà essere posto al di sotto del terreno più superficiale, costituito da materiale di riporto e terreno scarsamente addensato, e quindi al di sotto dell'unità litologica A, a partire da almeno – 1,5 m dal p.c. attuale.

3.3. Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione

Nella seguente tabella vengono riassunti i parametri geotecnici medi riferiti alle singole unità litologiche interessate dai carichi delle strutture in progetto, dedotti sulla base della letteratura tecnica e sulla base delle risultanze di prove penetrometriche realizzate nelle vicinanze dell'area di intervento.

Unità Litologica	Φ (°)	Dr (%)	γ (kN/m^3)	E (kg/cm^2)
B	32	40	18	200
C	36	70	19	320

3.4. Valutazione della pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica è definita essenzialmente in termini di $\mathbf{a_{max}}$ (accelerazione massima orizzontale al piano di posa delle fondazioni) e di $S_e(T)$ (ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente) con prefissate probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento; quest'ultimo è funzione del tipo di costruzione e della classe di uso.

Considerando gli edifici in progetto come opere rilevanti, tali opere ricadono in classe III (C_u = 1.5) con vita nominale $\underline{>}$ 50 anni.

In base a quanto previsto dal D.M. 14/01/2008 (§ 7.11.3.5.2) $\mathbf{a_{max}}$ è descritta dalla seguente formula:

$\mathbf{a_{max} = S_S * S_t * a_g}$ dove

$\mathbf{S_S}$ = fattore di correzione stratigrafica associato alla categoria di suolo di fondazione

$\mathbf{S_t}$ = fattore di amplificazione topografica

$\mathbf{a_g}$ = accelerazione sismica al *bedrock* (substrato roccioso) in cui ha origine l'onda sismica.

Nel caso specifico, i risultati della prova sismica realizzata nell'area di intervento, hanno evidenziato che la categoria del suolo di fondazione è di **tipo 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 Vs_{30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s) per cui il fattore $\mathbf{S_S}$ deriva dalla seguente formulazione

$1 \leq 1,4 - 0,4\ F_0 a_g/g \leq 1,2$

dove $\mathbf{F_0}$ è l'amplificazione spettrale massima in accelerazione orizzontale.

I parametri $\mathbf{a_g}$, $\mathbf{F_0}$ e **T*c** sono ricavati per interpolazione, in base ai valori di latitudine e longitudine del sito di intervento, dalla "Tabella dei parametri che definiscono l'azione sismica" allegata al D.M. 14.01.2008 considerando un tempo di ritorno di 712 anni[1] per cui $\mathbf{a_g}$ = 0,065 g , $\mathbf{F_0}$ = 2,779 , **T*c** = 0,280 s (cfr. Allegato 2).

Di conseguenza il parametro $\mathbf{S_S}$ assume il valore di 1,2.

Il parametro $\mathbf{S_t}$, trattandosi di superficie topografica sub-pianeggiante, assume il valore di 1,0 (categoria topografica T1).

Utilizzando questi parametri si ottiene il valore di $\mathbf{a_{max}}$ che è pari a **0,078 g.**

3.5. Determinazione della capacità portante del terreno di fondazione e dei cedimenti

Non essendo possibile, in questa fase progettuale, avere i dati relativi al carico di progetto, in quanto non è stato ancora redatto il progetto strutturale delle opere, non è possibile procedere alla determinazione della capacità portante del terreno e dei cedimenti, secondo la normativa vigente.

Non appena tali dati verranno forniti, la presente relazione verrà integrata e si procederà a definire le portanze ammissibili, tali da soddisfare le condizioni previste dalla normativa vigente, nonché le verifiche dei limiti di esercizio, consistenti nel calcolo dei cedimenti ritenuti ammissibili.

[1] In questo caso la probabilità di superamento delle condizioni considerate è del 10%

4. VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA

Relativamente delle possibili interazioni tra la situazione idrologica locale e le opere in progetto, tenuto conto delle caratteristiche attuali dei corsi d'acqua più prossimi, si osserva che l'area di intervento si situa in un settore esterno rispetto a quello esposto all'azione del reticolato idrografico per fenomeni di tipo alluvionale o erosivo anche di elevata intensità.

I lavori previsti non modificheranno le condizioni del deflusso verso il reticolato idrografico naturale e delle acque meteoriche ruscellanti.

Lo smaltimento delle acque meteoriche provenienti dalle superfici impermeabilizzate dovrà essere garantito tramite l'immissione delle stesse in un adeguato ricettore.

5. STABILITÀ DELL'AREA

In generale la stabilità di un'area dipende dalle caratteristiche geotecniche del terreno e dalla tipologia e dimensioni delle opere da realizzarsi.

Nel caso specifico i terreni presenti sul sito di intervento, ad esclusione dei livelli superficiali dell'unità litologica A, presentano buone caratteristiche geotecniche e sono caratterizzati da un angolo di attrito interno superiore alla pendenza della superficie topografica; si ritiene pertanto che non sussistano in generale problemi di stabilità legati ad essi.

Per quanto riguarda gli effetti indotti dalla realizzazione delle opere previste, si valuta che esse non comporteranno modificazioni tali da determinare un aggravio significativo alle attuali condizioni generali di stabilità.

Tuttavia andrà posta attenzione alla stabilità puntuale dei fronti di scavo e dei manufatti circostanti nel periodo in cui avverranno i previsti scavi di sbancamento. A tal proposito occorrerà procedere realizzando opere di sostegno provvisionali prima e/o durante le fasi di scavo prendendo in considerazione anche la tecnica dello scavo a settori, la sottomurazione e/o la realizzazione di una palificata (Berlinese l.s.). La tipologia e il dimensionamento dell'intervento per il sostegno dei fronti di scavo sarà a discrezione del progettista strutturale.

6. VALUTAZIONI

L'indagine geologico-tecnica effettuata ha evidenziato quanto segue:

- il sito di previsto intervento si trova in un'area in cui sono presenti terreni di origine fluvioglaciale in assenza di tracce di instabilità imputabili a cause geologiche;
- la situazione geotecnica locale risulta caratterizzata dalla presenza di terreni granulari moderatamente competenti a profondità non elevate e con caratteristiche tali da consentire un'adeguata situazione fondazionale;
- la tipologia degli interventi previsti non andrà ad aggravare significativamente le condizioni di stabilità generale, ma andranno attentamente studiate le opere di sostegno provvisionali per i fronti di scavo al fine di prevenire danni ai manufatti limitrofi;
- il sito di intervento si colloca in un settore esterno rispetto a quello esposto, in occasione di ingenti eventi alluvionali, all'azione del reticolato idrografico naturale ed artificiale;
- le opere previste non costituiranno ostacolo al deflusso naturale delle acque superficiali ruscellanti e incanalate.

Si ritiene pertanto che gli interventi in progetto siano compatibili con la situazione geologica e idrogeologica locale e con la Normativa vigente in merito.

Non essendo stato possibile, in questa fase progettuale, realizzare tutte le indagini geognostiche necessarie a caratterizzare, con maggiore precisione, geologicamente e idrogeologicamente il sottosuolo dell'area di intervento, si è fatto riferimento ad indagini realizzate nelle vicinanze dell'area, in ambiente geologicamente analogo. Nella fase progettuale successiva sarà opportuno realizzare ulteriori indagini, precedentemente descritte: alla luce delle risultanze di tali indagini, le considerazioni effettuate in questa relazione potranno essere verificate ed integrate.

Dott. Geol. Stefania Goffi

Dott. Geol. GOFFI Stefania
v. Flli Girotto 4 - AVIGLIANA (TO)

TAV. 1: Estratto della C.T.R. - Sezione 155160 - (Scala 1:10000) con indicazione dell'area di intervento.

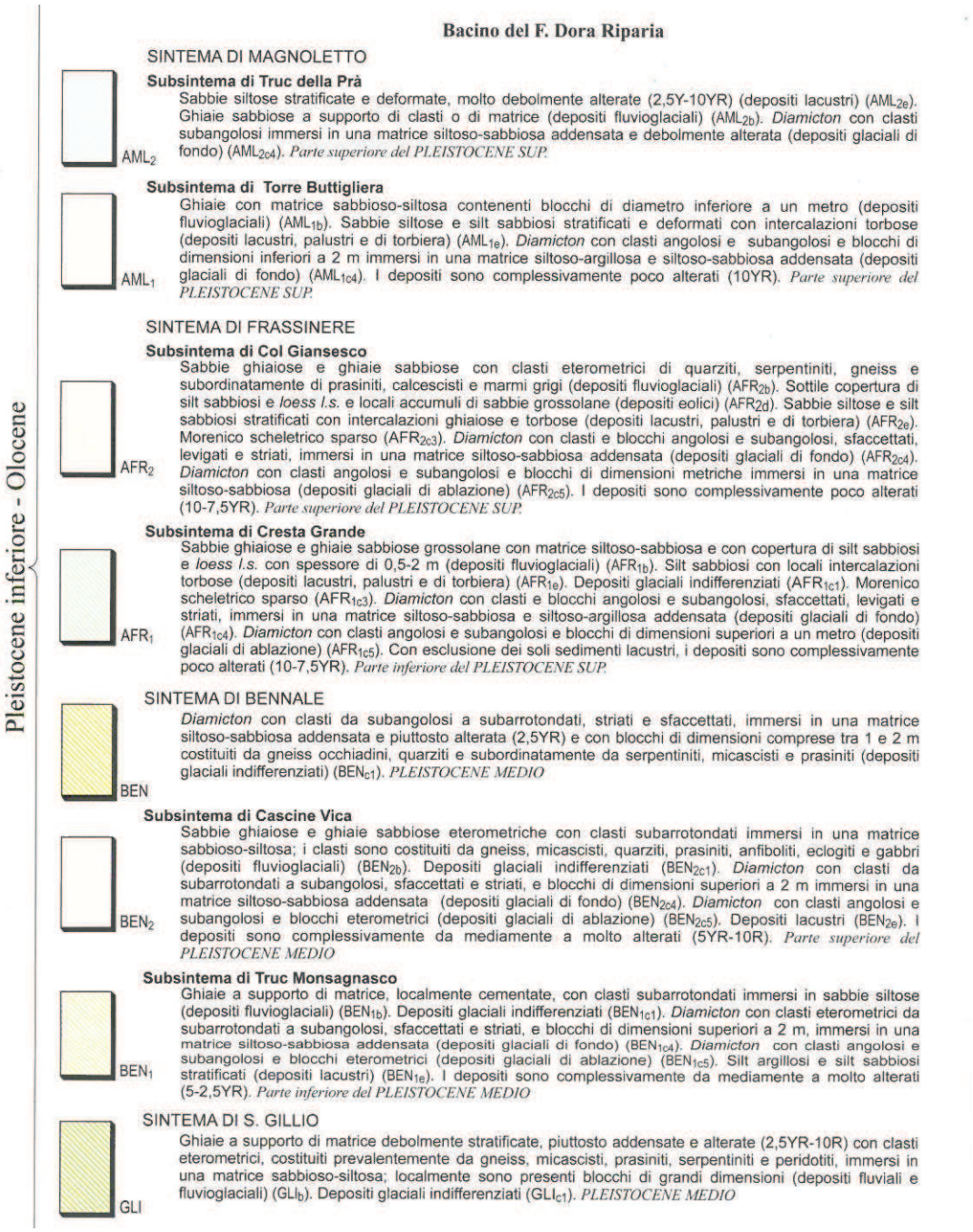
Dott. Geol. GOFFI Stefania
v. FIli Girotto 4 - AVIGLIANA (TO)

TAV. 2: Foto aerea con ubicazione dell'area di intervento.

Dott. Geol. GOFFI Stefania
v. FIli Girotto 4 - AVIGLIANA (TO)

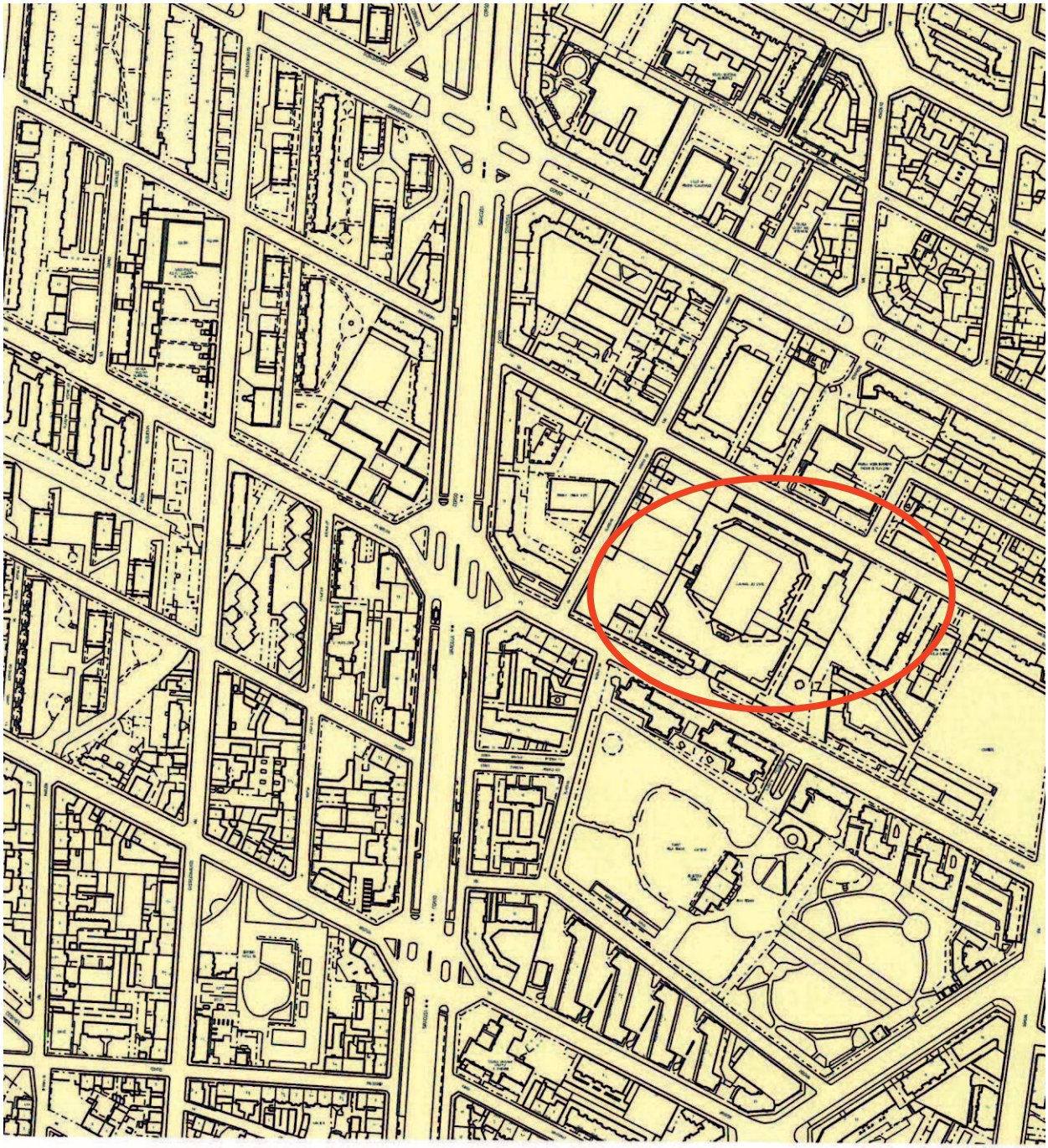
TAV. 3: Estratto della Carta Geologica d'Italia - Foglio 155, Torino Ovest - con ubicazione dell'area di intervento (Scala 1:50.000).

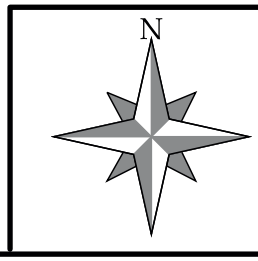
Dott. Geol. GOFFI Stefania
v. FIli Girotto 4 - AVIGLIANA (TO)



TAV. 4: Estratto della Legenda della Carta Geologica d'Italia - Foglio 155, Torino Ovest.

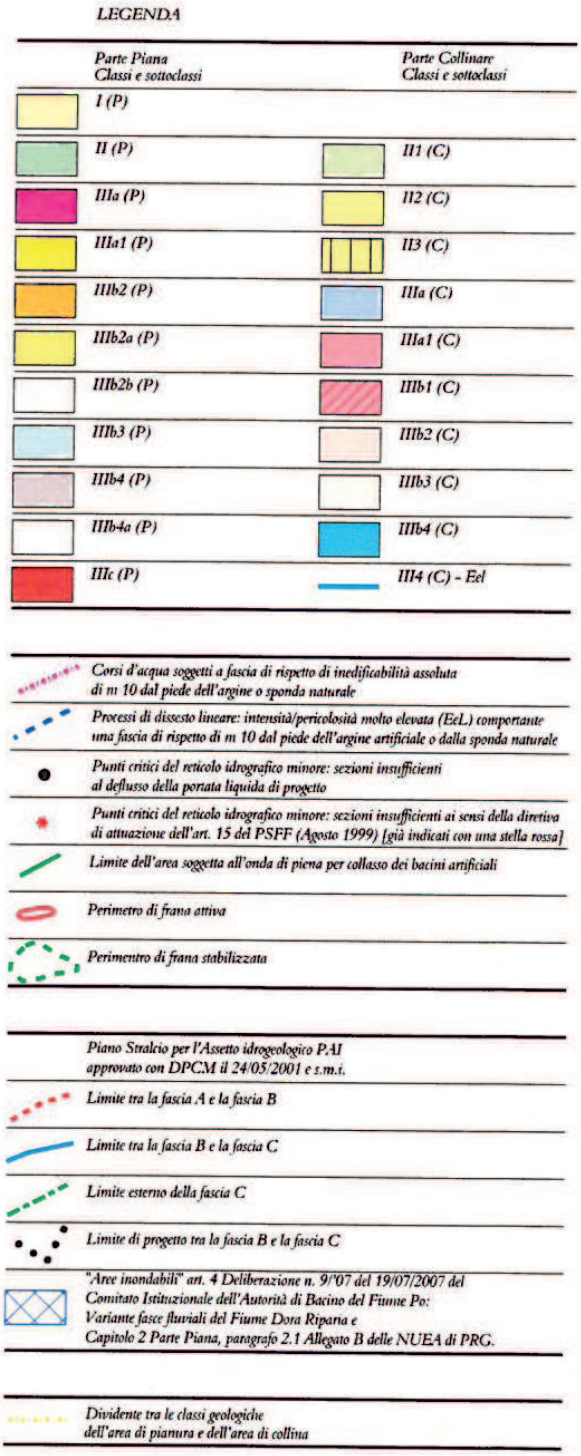
Dott. Geol. GOFFI Stefania
v. Flli Girotto 4 - AVIGLIANA (TO)





TAV. 5: Estratto della «Carta di Sintesi della Pericolosità Geologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica» Tavola 3 - Foglio 12A, allegata al P.R.G. della Città di Torino con ubicazione dell'area di intervento.

Dott. Geol. GOFFI Stefania
v. Flli Girotto 4 - AVIGLIANA (TO)



TAV. 6: Legenda della «Carta di Sintesi della Pericolosità Geologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica» Tavola 3 - Foglio 12A, allegata al P.R.G. della Città di Torino.

ALLEGATO 1

Centrale del Latte di Torino & C. S.p.A.

Sito di indagine:
Via Filadelfia 220, Torino

Indagine sismica con metodologia MASW finalizzata alla determinazione del parametro Vs_{30} per la classificazione sismica dei suoli

Relazione Tecnica

Relazione n.:	2986/15
Revisione n.:	0
Data:	Febbraio 2015
Redatto da:	Dott. Geol. Emmanuele Duò
Controllato da:	Dott. Geol. Mario Naldi

Techgea Srl
Sede legale e operativa: Via Carlo Viola 78 11026 Pont Saint Martin (AO)
Tel 011 700113 - Fax 011 7077673 - e-mail: info@techgea.eu

1 Introduzione **pag. 1**

2 Strumentazione utilizzata **pag. 1**

3 Acquisizione ed elaborazione dati **pag. 1**

4 Normativa sismica vigente **pag. 2**

5 Risultati della prova MASW **pag. 4**

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 Filadelfia 220, Torino			Regione:	Piemonte
Norm. regione:	D.G.R. n. 4-3084 del 12.12.2011 e s.m.i.			Zona sismica:	4
Progetto:	Interventi edilizi				
Coordinate GPS	Datum: WGS84	Proiezione: UTM	Zona: 32T	EST: 392761.45	NORD: 4988876.66

Scopo dell'indagine è definire il parametro Vs_{30} per la classificazione sismica dei suoli (in accordo al D.M. 14.01.2008 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 III, 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 acquizione composto da:

Geofoni	Numero 24	Frequenza [Hz] 4.5	Interasse [m] 2	Lungh. linea [m] 46
Energizzazioni	Mazza [Kg] 10	Punti energ. [n°] 5	Max dist.da G1 [m] 20	Min dist.da G1 [m] 4

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

Depth (Z_{max})[1] (m)	Source (S)[2] (lb)	Receiver (R)[3] (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)			
			Length[4] (D)	Source Offset[5] (X_1)	Receiver Spacing (dx)	
					24-ch*	48-ch
≤ 1.0	≤ 1	4.5–100	1–3	0.2–3.0	0.05–0.1	0.02–0.05
	(1)**	(40)	(2.0)	(0.4)	(0.1)	(0.05)
1–5	1–5	4.5–40	1–15	0.2–15	0.05–0.6	0.02–0.3
	(5)	(10)	(10)	(2)	(0.5)	(0.25)
5–10	5–10	≤ 10	5–30	1–30	0.2–1.2	0.1–0.6
	(10)	(4.5)	(20)	(4)	(1.0)	(0.5)
10–20	≥ 10	≤ 10	10–60	2–60	0.4–2.5	0.2–1.2
	(20)	(4.5)	(30)	(10)	(1.5)	(1.0)
20–30	≥ 10	≤ 4.5	20–90	4–90	0.8–3.8	0.4–1.9
	(20)	(4.5)	(50)	(10)	(2.0)	(1.5)
30–50	≥ 10 (20)	≤ 4.5	30–150	6–150	1.2–6.0	0.6–3.0
	or passive	(4.5)	(70)	(15)	(3.0)	(2.0)
> 50	≥ 10 (20)	≤ 4.5	> 50	> 10	> 2.0	> 1.0
	or passive	(4.5)	(150)	(30)	(6.0)	(4.0)

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Surfseis V. 4.02 (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 media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna (Vs_{30}) e viene calcolato mediante la formula:

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

h_i = spessore dello strato i-esimo (espresso in m)
V_i = velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo (espresso in m/s)
N = numero totale di strati presenti nei primi 30 m di suolo

Nella Tabella 2 riportata nella pagina seguente, si presenta la classificazione sismica prevista dal Decreto Ministeriale del 14.01.2008 (T.U. costruzioni).

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

TIPO DI TERRENO	PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs_{30} [m/s]	N_{SPT}	Cu [kPa]
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m	**> 800**		
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	**< 800** **> 360**	**> 50**	**> 250**
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	**< 360** **> 180**	**< 50** **> 15**	**< 250** **> 70**
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati, o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	**< 150**	**< 15**	**< 70**
E	Terreni dei sottosuoli tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs_{30} > 800 m/sec)			
S1	Depositi di terreni che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	**< 100**		**< 20** **> 10**
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti			

In merito alla categoria E, secondo quanto indicato nel *Quaderno di approfondimento alle Linee Guida NTC 08* ad opera del Gruppo Interregionale dell'Ordine dei Geologi, appare poco cautelativo individuare nei suoli tipo C e D, aventi Vs_{30} inferiori a 360 m/s, i terreni "pericolosi", senza un riferimento specifico al contrasto di rigidezza sismica tra copertura e bedrock: coperture anche più "veloci" delle categorie C e D possono risultare ugualmente pericolose in funzione di una velocità del bedrock superiore agli 800 m/s. In quest'ottica possono risultare di grande aiuto anche le misure di rumore sismico ambientale a stazione singola.

Partendo dal presupposto che il contrasto minimo di velocità sismica per entrare in categoria di sottosuolo E vale V_{contr} = 800/360 ≈ 2.2, è ragionevole assumere, in presenza di spessori della copertura ≤ 20 m anche con velocità superiore a 360 m/s ma con contrasto di velocità V_{contr} ≥ 2.2, categoria di sottosuolo E.

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 ÷ 5	Livello superficiale costituito da terreni a rigidità bassa	240 ÷ 300
2	5 ÷ 20	Secondo sismostrato costituito da materiali mediamente addensati con possibili livelli cementati	380 ÷ 580
3	20 ÷ 42	Sismostrato basale costituito da materiali addensati	510 ÷ 670

Il valore di Vs_{30} calcolato al piano campagna è pari a 480 m/s. Pertanto è possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "B".

Vs_{30} [m/s]	Classe di suolo	Profilo stratigrafico
480	**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

Techgea S.r.l.

Relazione redatta da:

Dott. Geol. Emmanuele Duò

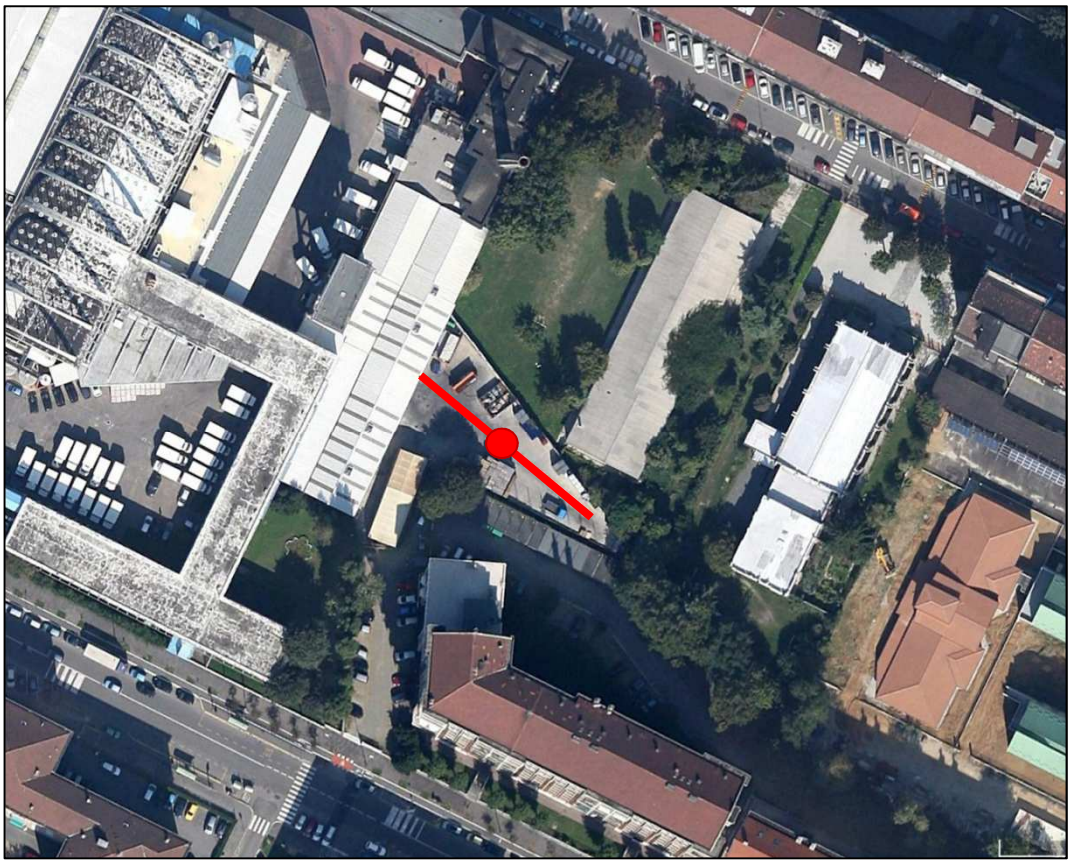
Controllata da:

Dott. Geol. Mario Naldi

ALLEGATO A
Certificato esito prova MASW

COMMITTENTE	Centrale del Latte di Torino & C. S.p.A		
RELAZIONE	2986/15		
LOCALITA'	Via Filadelfia 220, Torino		ALLEGATO A
DATA	Febbraio 2015		Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW



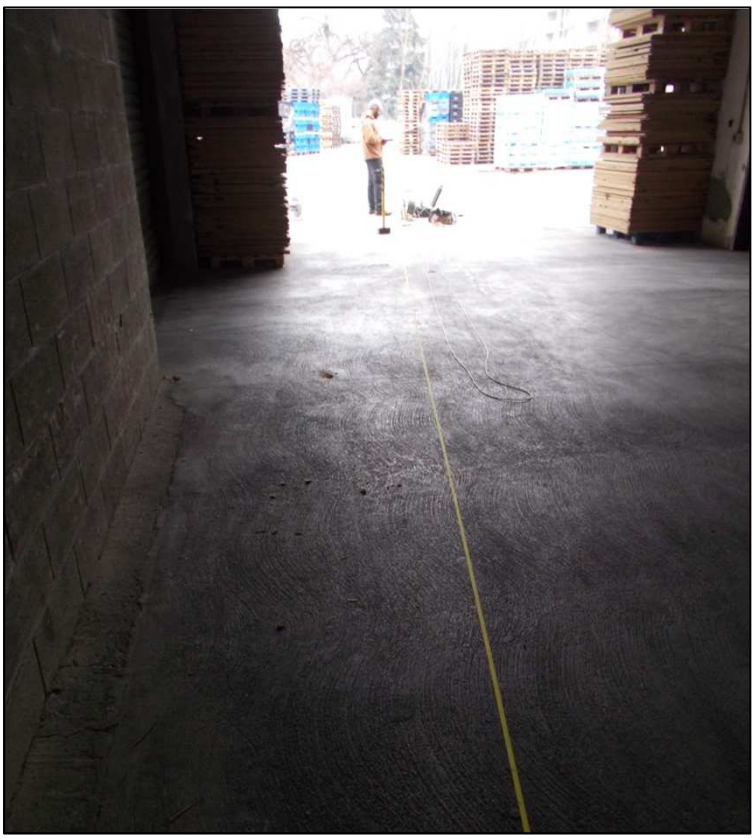
LEGENDA

Stendimento linea MASW

Centro linea MASW
Ubicaz. profilo Vs_{30}

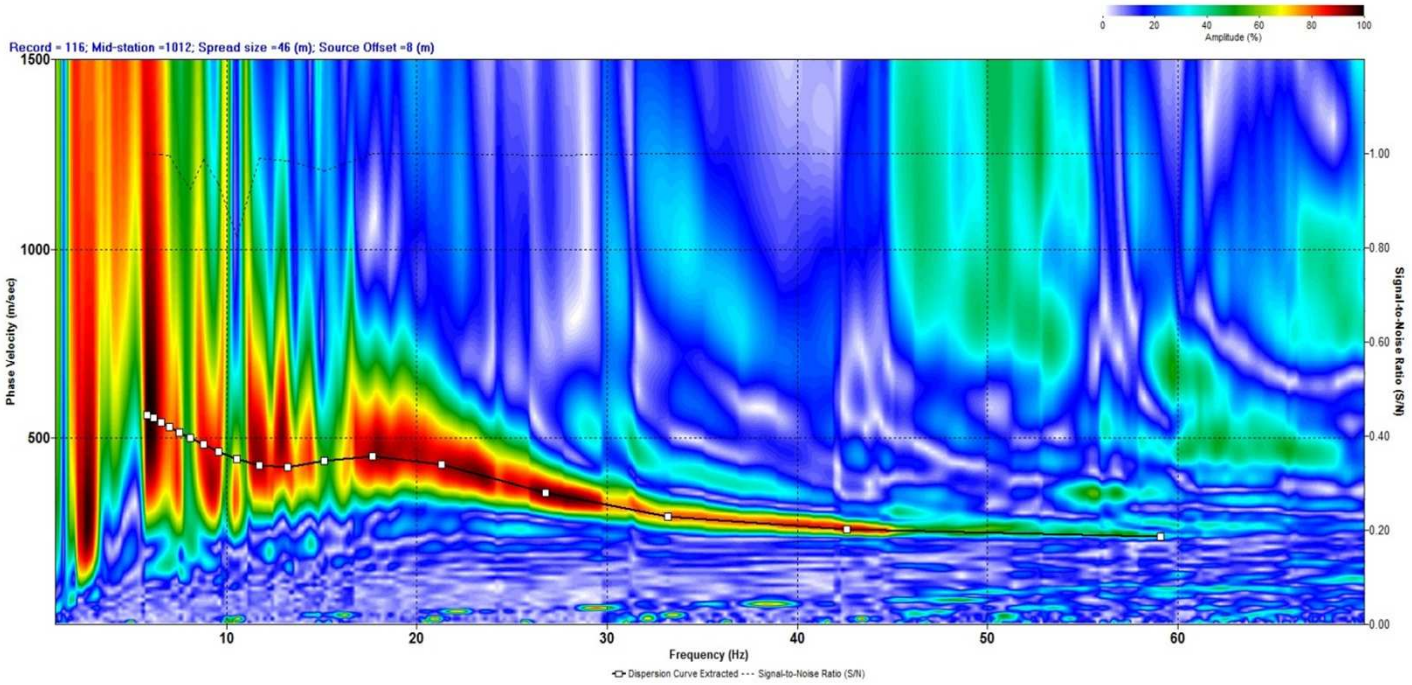
Ubicazione centro MASW	
Coordinate UTM WGS84	
Zona	32T
EST	392761.45
NORD	4988876.66

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

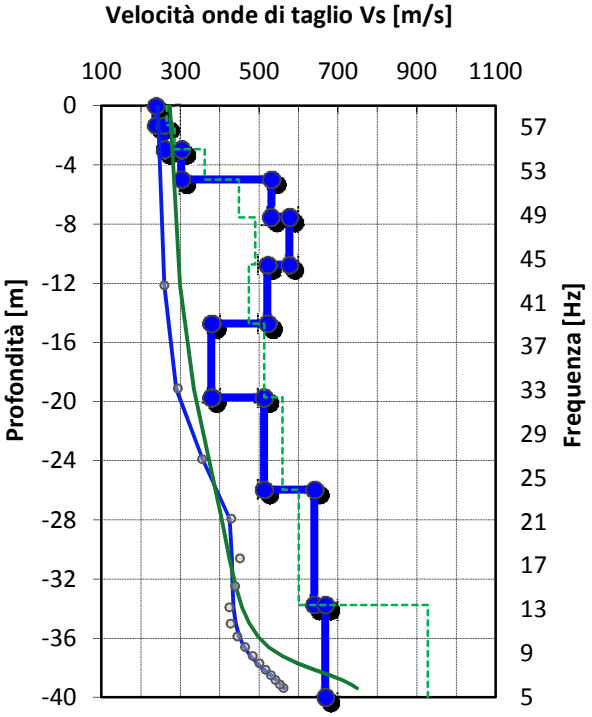


COMMITTENTE	Centrale del Latte di Torino & C. S.p.A.	SISMOGRAFO	DAQ LINK III	Techgea GEOPHYSICS
RELAZIONE	2986/15	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	Via Filadelfia 220, Torino	ACQUISITION TIME	1.0 s	ALLEGATO A
DATA	Febbraio 2015	SAMPLE INTERVAL	0.250 ms	Pagina 2

PROVA MASW - SPETTRO IN FREQUENZA E CURVA DI DISPERSIONE ESTRATTA



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



LEGENDA

Modello di velocità Vs
Vs iniziale
Vs finale

Curva di dispersione V_{fase}/f
Curva di disp. iniziale
Curva di disp. Finale
Modo fond. misurato

MODELLO Vs A 10 STRATI

Strato	Profondità [m] da	Profondità [m] a	Vs [m/s]
1	0.0	-1.3	239
2	-1.3	-2.9	260
3	-2.9	-5.0	303
4	-5.0	-7.5	531
5	-7.5	-10.7	577
6	-10.7	-14.7	521
7	-14.7	-19.7	379
8	-19.7	-26.0	513
9	-26.0	-33.8	640
10	-33.8	-40.0	668

Codice di calcolo: SurfSeis 4.02

SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	Vs_{30} [m/s]
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	480 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30 m)

ALLEGATO B
Cenni sulla metodologia MASW

CENNNI TEORICI SULLA METODOLOGIA DI INDAGINE MASW

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: 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).

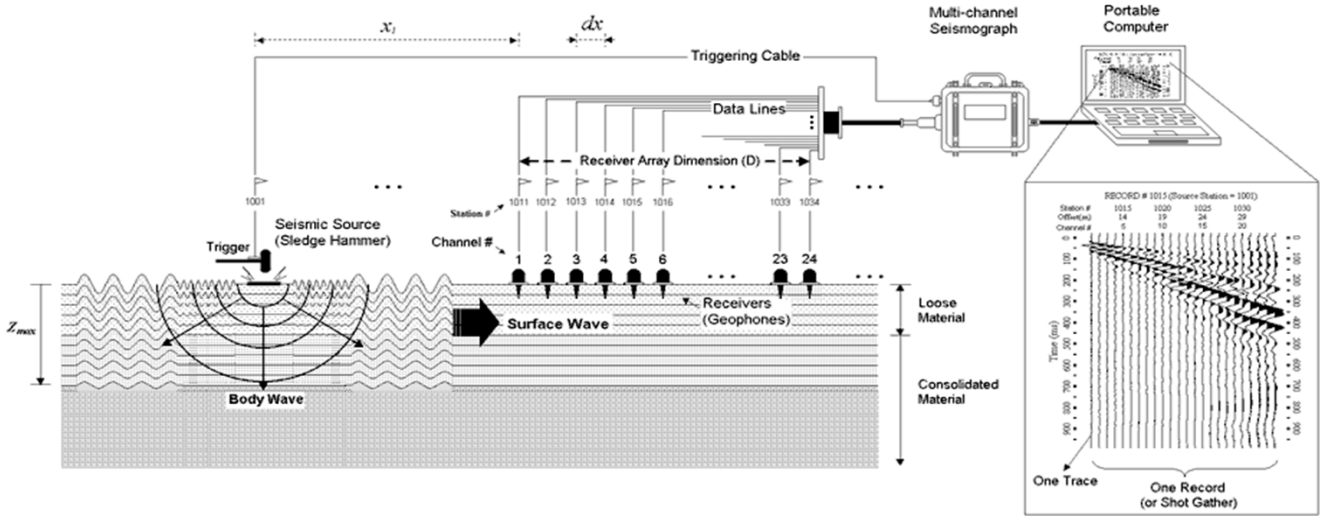


Figura 1 - Schema di acquisizione dati MASW

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, nonchè 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).

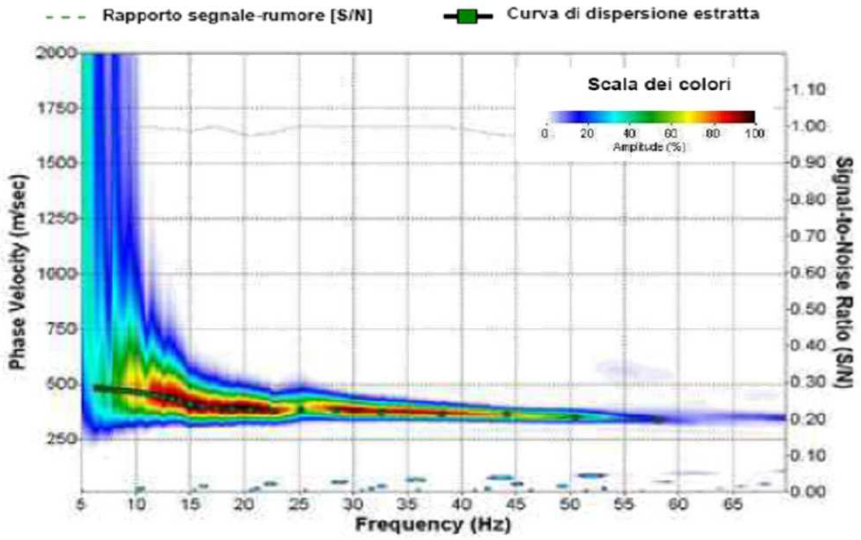


Figura 2 - Curva di dispersione della velocità Vs in funzione della frequenza e della velocità di fase

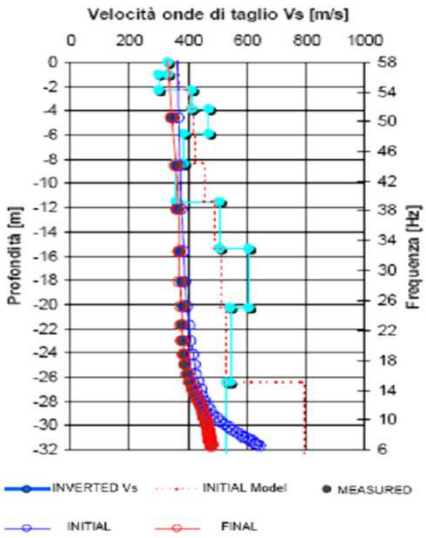


Figura 3 - Modello di propagazione delle velocità delle onde Vs

ALLEGATO 2

Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS** http://www.geostru.com/geoapp

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: opere di sostegno

Sito in esame.
latitudine: 45,046110 [°]
longitudine: 7,637852 [°]
Classe d'uso: III. Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Vita nominale: 50 [anni]
Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	13792	45,041320	7,618701	1596,1
Sito 2	13793	45,044750	7,689264	4042,0
Sito 3	13571	45,094640	7,684387	6517,3
Sito 4	13570	45,091200	7,613831	5356,9

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75 anni
Coefficiente cu: 1,5

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	45	0,029	2,573	0,195
Danno	63	75	0,035	2,620	0,213

(SLD)					
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,065	2,779	0,280
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1462	0,077	2,831	0,288

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,530	1,000	0,006	0,003	0,340	0,180
SLD	1,200	1,500	1,000	0,007	0,004	0,407	0,180
SLV	1,200	1,420	1,000	0,014	0,007	0,761	0,180
SLC	1,200	1,410	1,000	0,017	0,008	0,902	0,180