

REGIONE PIEMONTE
PROVINCIA DI CUNEO
COMUNE DI CUNEO

PEC AREA "API2.OS"
località Cascina La Grossa

Relazione geologica e geotecnica
(ai sensi dei § 6.2.1 – 6.2.2 delle Norme tecniche delle costruzioni del DM 17.01.2018)

Committenti:

Porta Rossa S.p.a.
Via Porta Rossa, 52
12100 CUNEO

Dott. **Eraldo Viada**
Geologo
Via Tetto Chiappello, 21D
12017 Robilante (CN)
3404917357



novembre 2019

Dott. **Eraldo Viada**
Geologo
Via Tetto Chiappello, 21D
12017 Robilante (CN)
3404917357

1 Premessa

La presente relazione è stata redatta in riferimento alla realizzazione di opere di urbanizzazione nell'ambito dell'area di PEC API2.OS del P.R.G.C..

La presente relazione illustra le risultanze delle indagini eseguite al fine di definire i modelli geologico e geotecnico caratterizzando il sito dal punto di vista sismico.

2 Inquadramento geografico

Il sito è ubicato nell'area produttiva – artigianale a Nord – Est della frazione Madonna dell'Olmo ed ha il suo corrispondente topografico nella cartografia BDTRE della Regione Piemonte (*Fig. 1*). Per quanto concerne i riferimenti catastali, l'area d'intervento è censita ai mappali 51 – 96 – 666 – 689 – 769 – 773 – 774 – 777 – 810 – 812 – 814 – 856 – 23 – 146 – 180 - 186 del foglio 34 del Comune di Cuneo

3 Piano delle indagini

Le indagini sono state condotte mediante rilievi in sito e facendo riferimento alla documentazione geologica relativa allo strumento urbanistico vigente e a dati di repertorio relativi a indagini condotte dallo scrivente in aree poste in prossimità di quella in esame quella in esame.

Per quanto concerne la definizione della categoria sismica del suolo di fondazione, ai sensi del DM 17.01.2018, è stata eseguita (a cura Techgea Servizi S.a.s.) una prospezione sismica con metodo MASW nell'area d'intervento.

4 Normativa di riferimento

Dal punto di vista normativo, lo studio è stato condotto ai sensi del D.M. 17.01.2018 “*Norme tecniche per le costruzioni*” ed in particolare del § 6.2.1 e § 6.2.2 delle medesime.

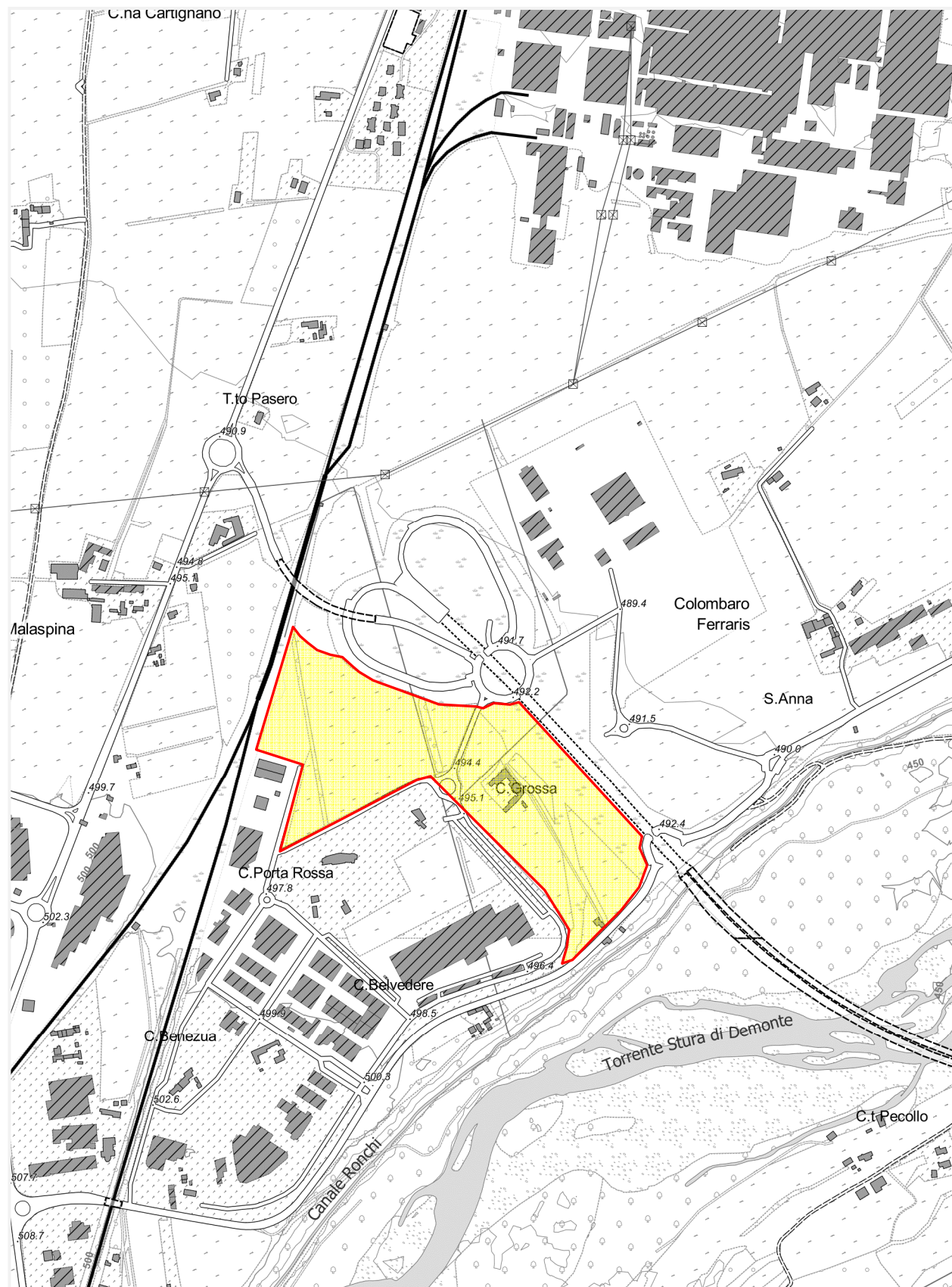


Fig. 1 – Corografia con perimetrazione area (cartografia BDTRE Regione Piemonte - scala 1/10.000)

5 Modello geologico

5.1 Inquadramento geologico

L'ossatura geologica del settore di pianura in esame è rappresentata da depositi fluviali quaternari che, sulla Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 nel Foglio n. 80 "Cuneo", sono distinti come *Alluvioni sabbioso – ghiaioso – ciottolose dei piani terrazzati*. Nella bibliografia più recente, essi sono attribuiti alle unità geologiche del *fluvioglaciale e fluviale Riss e dell'interglaciale Riss – Würm*.

Questa successione di depositi poggia su depositi molto simili ma mediamente più ricchi in frazione fine, riferibili alla sequenza plio – pleistocenica, distinta nella bibliografia scientifica più recente come Villafranchiano A.

I dati di base sono stati desunti dal F80 "Cuneo" della Carta Geologica d'Italia e dalla bibliografia scientifica più recente¹².

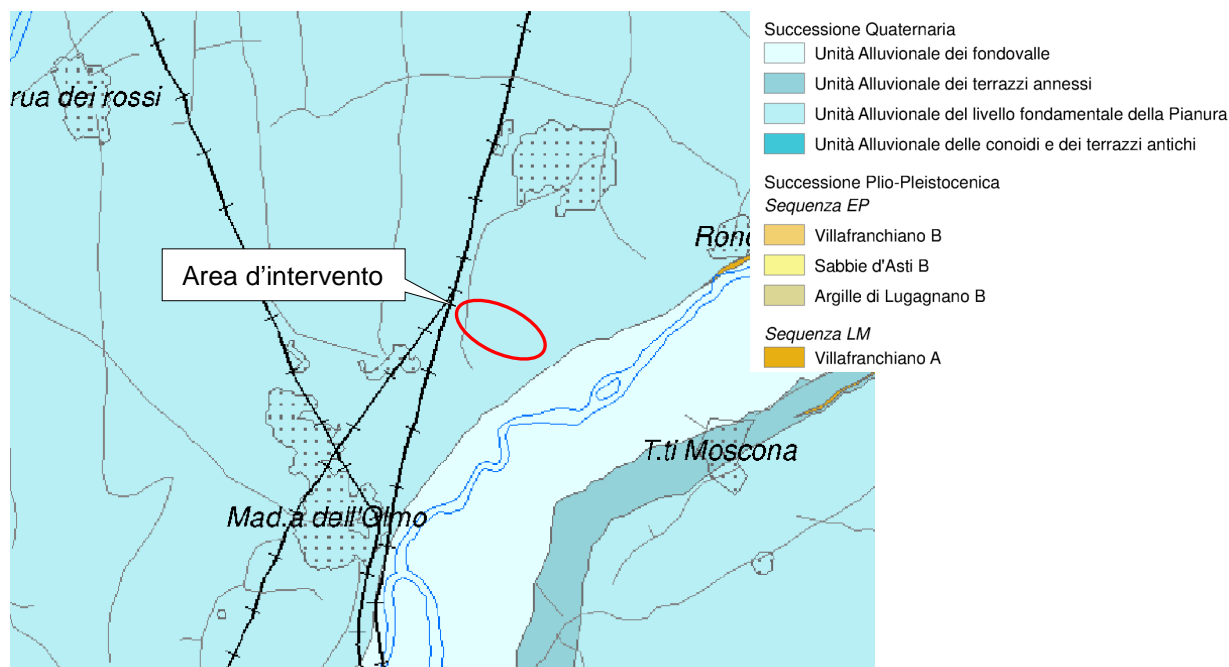


Fig. 2 – Carta delle successioni geologico - stratigrafiche (tratta da "Le acque sotterranee della pianura e della collina cuneese" – Politecnico di Torino) (non in scala)

5.2 Inquadramento geomorfologico

5.2.1 Lineamenti generali

L'area di PEC si sviluppa in sinistra idrografica del T. Stura, su un settore riferibile, dal punto di vista geomorfologico, al livello fondamentale dell'alta pianura cuneese.

¹Civita M., Vigna B., Di Maio M., Fiorucci A., Pizzo S., Gandolfo M., Banzato C., Musciacchio D., Agnello M., Offi M., Menegatti S. (2005) – *Studio di valutazione della vulnerabilità intrinseca delle acque sotterranee*.

²Civita M., Vigna B., Di Maio M., Fiorucci A., Pizzo S., Gandolfo M., Banzato C., Musciacchio D., Agnello M., Offi M., Menegatti S. (2011) – *Le acque sotterranee della pianura e della collina cuneese* – Provincia di Cuneo.

Quest'ultimo è collocato in posizione rilevata di 50 m circa rispetto al fondovalle del corso d'acqua a cui si raccorda mediante una scarpata principale con altezza di alcune decine di metri.

Il sito si sviluppa al margine di in un'area urbanizzata in posizione discosta (lato meridionale) di alcune decine di metri dal ciglio della scarpata sopraccitata.

5.2.2 Processi morfo dinamici

5.2.2.1 Dinamica dei corsi d'acqua

Nel settore in esame non è presente un reticolo idrografico e il drenaggio delle acque meteoriche si esplica generalmente per infiltrazione nella coltre di terreni di copertura. Tale assetto è confermato dalla documentazione relativa alle indagini geologiche del PRGC vigente.

5.2.2.2 Dinamica gravitativa

Il sito è collocato in posizione notevolmente discosta rispetto alla scarpata di raccordo con il fondovalle del T. Stura. Quest'ultima è comunque contraddistinta da condizioni di stabilità buone. Tale assetto è confermato dalla documentazione relativa alle indagini geologiche del PRGC vigente.

5.3 Modello litologico

Il modello litologico è stato definito facendo riferimento alla bibliografia scientifica e a dati di repertorio relativi a osservazioni dirette in pozzetti realizzati in un intorno significativo del sito.

5.3.1 Modello litologico generale

I terreni di copertura che formano la pianura, sono rappresentati da depositi fluviali con potenza a tessitura prevalentemente grossolana (blocchi, ciottoli, ghiaie e sabbie).

In base alla bibliografia scientifica corrente, detti terreni formano una sequenza con spessore dell'ordine di 40 – 50 m e insistono su una sequenza di depositi costituita da ghiaie e sabbie, con alternanza di livelli siltoso - argillosi (*Pliocene*).

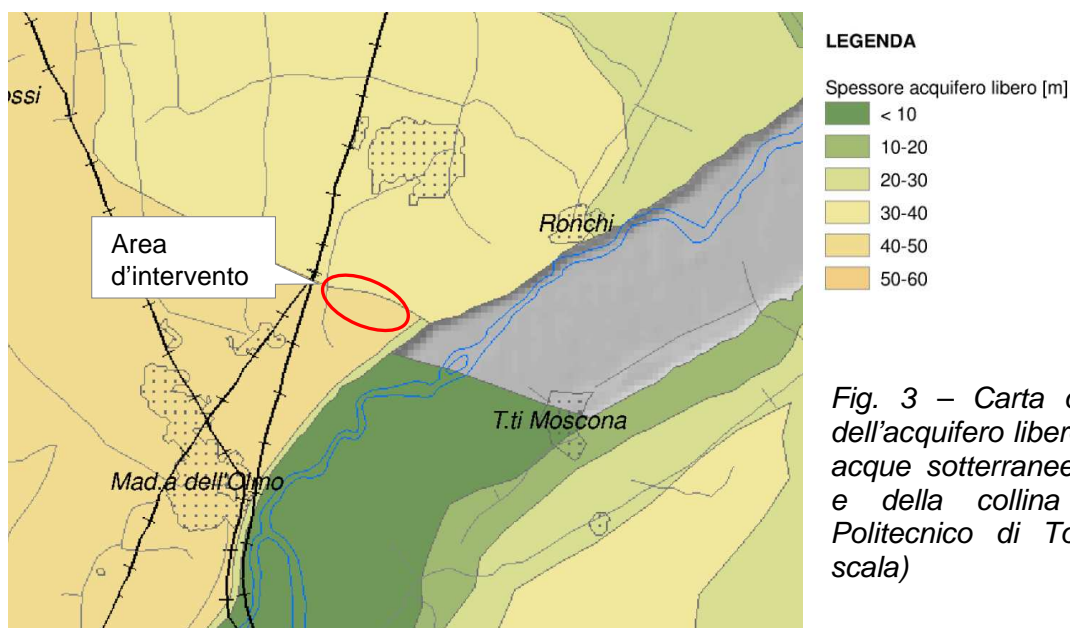


Fig. 3 – Carta dello spessore dell'acquifero libero (tratta da “Le acque sotterranee della pianura e della collina cuneese” – Politecnico di Torino) (non in scala)

5.3.2 Modello litologico locale

Sulla base di dati di repertorio relative a indagini geognostiche condotte in aree poste in posizione discosta di alcune centinaia di metri rispetto al sito, il modello litologico può essere così di seguito schematizzato:

Profondità (m)	Litologia
0	Suolo humico e di alterazione: limo - sabbioso con abbondante frazione organica
0,8/1	Depositi fluviali: ghiaia e ciottoli in/con matrice limoso – sabbiosa alterata di aspetto terroso
1,5/2	Depositi fluviali: ghiaia e ciottoli in/con matrice limoso – sabbiosa generalmente sana di colore tendenzialmente grigio

5.4 Assetto idrogeologico

I terreni di copertura a tessitura grossolana formano un complesso idrogeologico che, nella bibliografia scientifica sopraccitata, è distinto come *Complesso alluvionale principale*. I depositi che lo costituiscono sono caratterizzati da permeabilità piuttosto elevata, con valori mediamente compresi tra $1,5 \cdot 10^{-3}$ e $1,2 \cdot 10^{-4}$ m/s.

In base alla cartografia alla scala 1:50.000 della Regione Piemonte, nella quale sono riportati i dati relativi alla geometria della base dell'acquifero superficiale nelle aree di pianura dell'intero territorio (*Base acquifero superficiale - D.D. n. 229 del 6/6/2016*), nel settore in esame la base dell'acquifero superficiale è posta a una quota di 405 m s.l.m. ovvero a una profondità di 90 m circa rispetto al piano campagna (*Fig. 4*).

L'acquifero ospita una falda il cui livello piezometrico, sulla base della bibliografia scientifica (*Fig. 5*), si attesta ad una profondità dell'ordine di 20 - 30 m.



Fig. 4 – Base acquifero superficiale - D.D. n. 229 del 6/6/2016 (da cartografia alla scala 1:50.000 della Regione Piemonte)

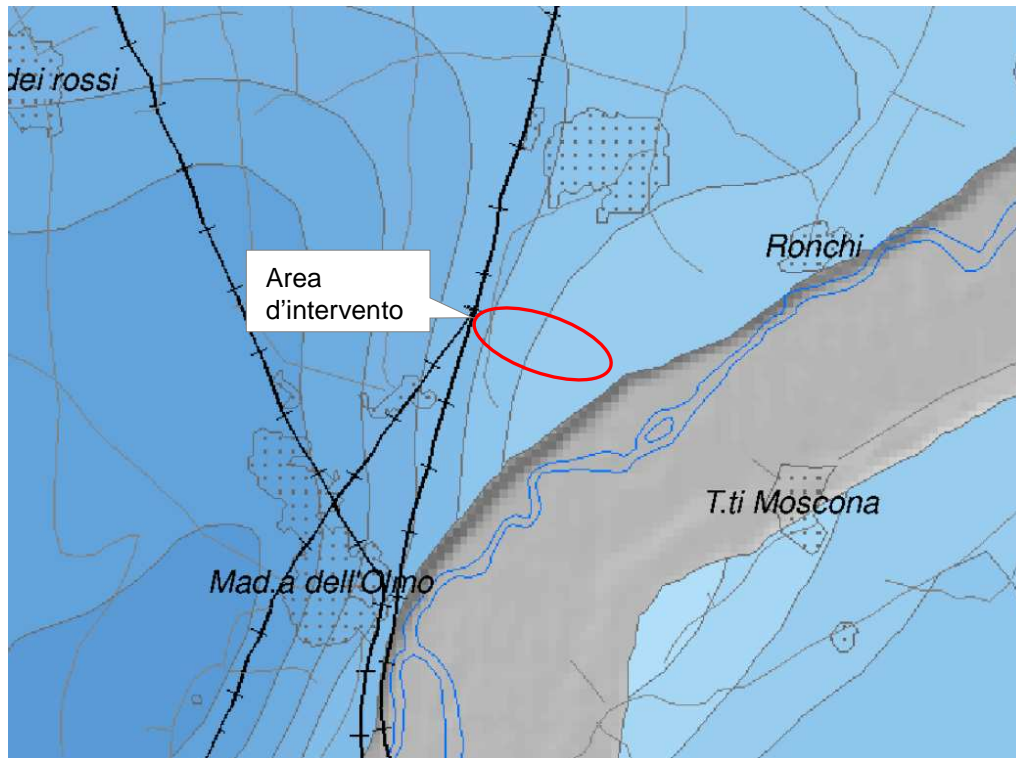


Fig. 5 – Carta della soggiacenza (tratta da “Le acque sotterranee della pianura e della collina cuneese” – Politecnico di Torino) (non in scala)

6 Modello geotecnico e litotecnico

6.1 Modello litotecnico

Il modello litotecnico preliminare può essere così di seguito schematizzato:

Profondità (m)	Litostrato	Caratteristiche litotecniche
0	A	Limo - sabbioso compressibile e plastico
0,8/1	B	Ghiaia e ciottoli in/con matrice limoso – sabbiosa mediamente addensati
1,5/2	C	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbioso - limosa addensati

6.2 Modello geotecnico

Lo strato di suolo unico (litostrato A) risulta geotecnicamente scadente e non idoneo per la posa di opere di fondazione.

I terreni a tessitura grossolana (litostrati B C), corrispondono a materiali incoerenti la cui resistenza al taglio è riconducibile principalmente all'angolo di attrito interno. Con riferimento alla classificazione ASTM nella quale vengono escluse le particelle di dimensioni maggiori di 75 mm, essi possono essere classificati GW – GM (ghiaia ben gradata con limo e sabbia).

Per questi terreni possono essere adottati, in fase preliminare, i valori caratteristici dei parametri geotecnici fondamentali di seguito riportati, facendo riferimento, alla correlazione di NAVFAC (1971), per quanto concerne l'angolo di attrito di quelli a tessitura grossolana.

Litostrato di fondazione	B	C
$\phi'k$ (valore caratteristico angolo di attrito interno)	34°	36°
ck (valore caratteristico coesione efficace) (kN/m ²)	0	0
peso di volume (γ_n)(kN/m ³)	18,5 – 20	19 – 20,5
Modulo di Winkler (kg/cm ³)	3	4

6.3 Considerazioni in merito alla vulnerabilità sismica locale

6.3.1 Categoria del suolo di fondazione

Per la definizione della categoria del profilo stratigrafico del suolo di fondazione, come definito nel 17 gennaio 2018, è stata eseguita (a cura Techgea Servizi S.a.s.) una prospezione sismica con metodo MASW nell'area d'intervento (All. 1). In base all'indagine, la velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30 m di suolo, partendo dall'attuale piano campagna, risulta pari a 482 m/s. Da una profondità di 2,5 m circa, la velocità equivalente delle onde di taglio risulta pari a 527 m/s. Tenuto conto dei suddetti valori della velocità equivalente delle onde di taglio e di quanto esposto circa l'assetto litostratigrafico locale, questi depositi ricadono nella categoria B dei suoli di fondazione così di seguito definita:

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.

6.3.2 Fattori di amplificazione

Per quanto concerne la vulnerabilità sismica locale, si fa presente che nell'area indagata e nel suo intorno significativo non è stata riscontrata la presenza di elementi morfologici che possano eventualmente determinare, a livello locale, effetti di amplificazione delle sollecitazioni sismiche.

Nell'areale in esame non si riscontra la presenza di contesti geologici con caratteristiche tali da rendere il materiale suscettibile a fenomeni di liquefazione, tenuto conto della tessitura dei depositi. Con riferimento a quest'ultimo aspetto, in particolare, si fa presente che la distribuzione granulometrica di detti materiali ricade all'esterno della zona corrispondente ai fusi granulometrici dei terreni suscettibili di liquefazione, secondo quanto indicato nelle figure 7.11.1 a – b delle NTC del DM 17.01.2018 (§ 7.11.3.4.2).

Dal punto di vista topografico, non si rileva la presenza di fattori di amplificazione (categoria T1) tenuto conto della configurazione debolmente acclive del sito.

7 Classe di pericolosità geomorfologica

In base alle indagini geologiche per la verifica di compatibilità idraulica e idrogeologica di adeguamento al P.A.I., il settore ove sorge il fabbricato interessato dagli interventi ricade nella Classe I di idoneità all'utilizzazione urbanistica prevista dalla Circolare del Presidente della Giunta Regionale N. 7/LAP dell'8/5/1996 "L.R. 5 dicembre 1977, N. 56, e successive modifiche ed integrazioni" così di seguito definita:

"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".

Alla luce delle indagini effettuate, tenuto conto dell'assenza situazioni di dissesto attivo e/o pregresso, l'utilizzo urbanistico dell'area risulta compatibile con l'assetto morfologico dei luoghi e con quanto previsto dalle norme di attuazione dello strumento urbanistico, senza la necessità di fornire particolari prescrizioni, salvo la realizzazione di una idonea rete di collettori e di pozzi perdenti per la regimazione e il drenaggio delle acque di prima pioggia.

8 Considerazioni geotecniche

Premesso che quanto esposto circa i modelli litologico e litotecnico dovrà essere verificato in fase operativa per ogni singolo lotto edificatorio, i terreni di fondazione corrispondono a materiali a tessitura grossolana, rinvenibili da una profondità media di 0,8 – 1 m rispetto al piano campagna attuale, contraddistinti da requisiti di resistenza al taglio buoni (Cfr § 6.2).

Per quanto concerne la caratterizzazione sismica dei terreni presenti nell'area in esame si ribadisce che essi ricadono nella categoria B dei profili stratigrafici del suolo di fondazione definiti nel DM 17.01.2018 (Cfr § 6.3.1).

ALLEGATO 1
RELAZIONE TECNICA PROSPEZIONE SISMICA MASW

Dott. Geol. Viada

Sito di indagine:
Area API2.OS, Comune di Cuneo



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

Relazione Tecnica

Relazione n.: 4593/19
Revisione n.: 0
Data: 01/10/19
Redatto da: Dott. Geol. Emmanuele Duò
Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi

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:			Area API2.OS, Comune di Cuneo		Regione:		Piemonte				
Norm. regione:			D.G.R. n. 4-3084 del 12.12.2011 e s.m.i.			Zona sismica:		3			
Progetto:									Frazionamento dei terreni siti in Loc. Cascina La Grossa		
Coordinate GPS		Datum: WGS84		Proiezione: UTM		Zona: 32T		EST: 385757		NORD: 4920368	

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 24	Frequenza [Hz] 4.5	Interasse [m] 1.5	Lungh. linea [m] 34.5
Energizzazioni	Mazza [Kg] 10	Punti energ. [n°] 8	Max dist.da G1 [m] 24	Min dist.da G1 [m] 3

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}) ¹ (m)	Source (S) ² (lb)	Receiver (R) ³ (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)				SR Move ⁶ (dx)			Recording ⁸				
			Length ⁴ (D)	Source Offset ⁵ (X ₁)	Receiver Spacing (dx)		Lateral Resolution ⁷			dt ⁹ (ms)	T ¹⁰ (sec)	Vertical Stack ¹¹		
					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]
A	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 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, 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.	< 800 > 360
C	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.	< 360 > 180
D	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.	< 180 > 100
E	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 ÷ 2.5	Livello superficiale costituito da depositi scarsamente addensati	240 ÷ 250
2	2.5 ÷ 28	Secondo sismostrato costituito da depositi da mediamente addensati ad addensati	370 ÷ 570
3	28 ÷ 30	Terzo sismostrato costituito da materiali a rigidità medio-elevata	710

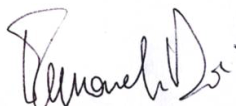
Il valore di $V_{S,eq}$ calcolato al piano campagna è pari a 482 m/s. Pertanto è possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "B".

$V_{S,eq}$ [m/s]	Classe di suolo	Profilo stratigrafico
482	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.

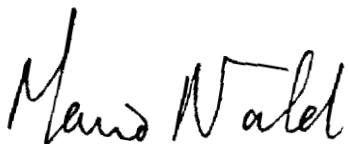
Relazione redatta da:

Dott. Geol. Emmanuele Duò




Controllata da:

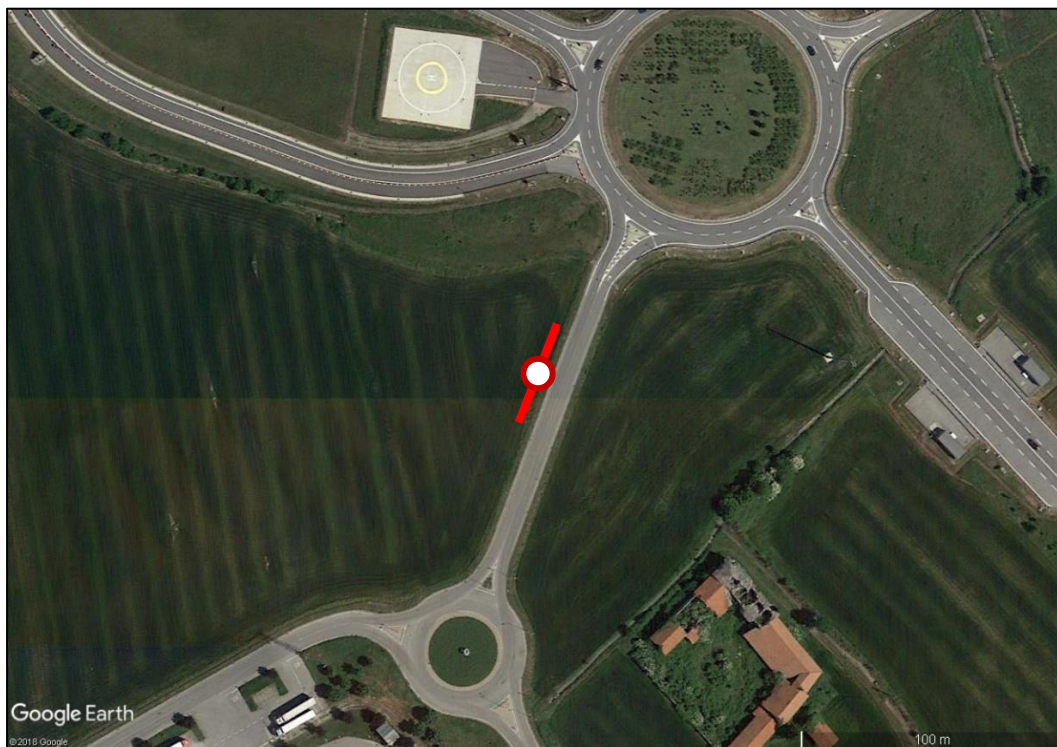
Dott. Geol. Mario Naldi



ALLEGATO A
Certificato esito prova MASW

COMMITTENTE	Dott. Geol. Viada	Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2015 Certificato n. IT246983 Bureau Veritas Italia S.p.A.	
RELAZIONE	4593/19		
LOCALITA'	Area API2.OS, Comune di Cuneo		
DATA	01/10/2019		
			ALLEGATO A
			Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW



LEGENDA

- Stendimento linea MASW
- Centro linea MASW
Ubicaz. profilo Vs₃₀

Ubicazione centro MASW

Coordinate UTM WGS84

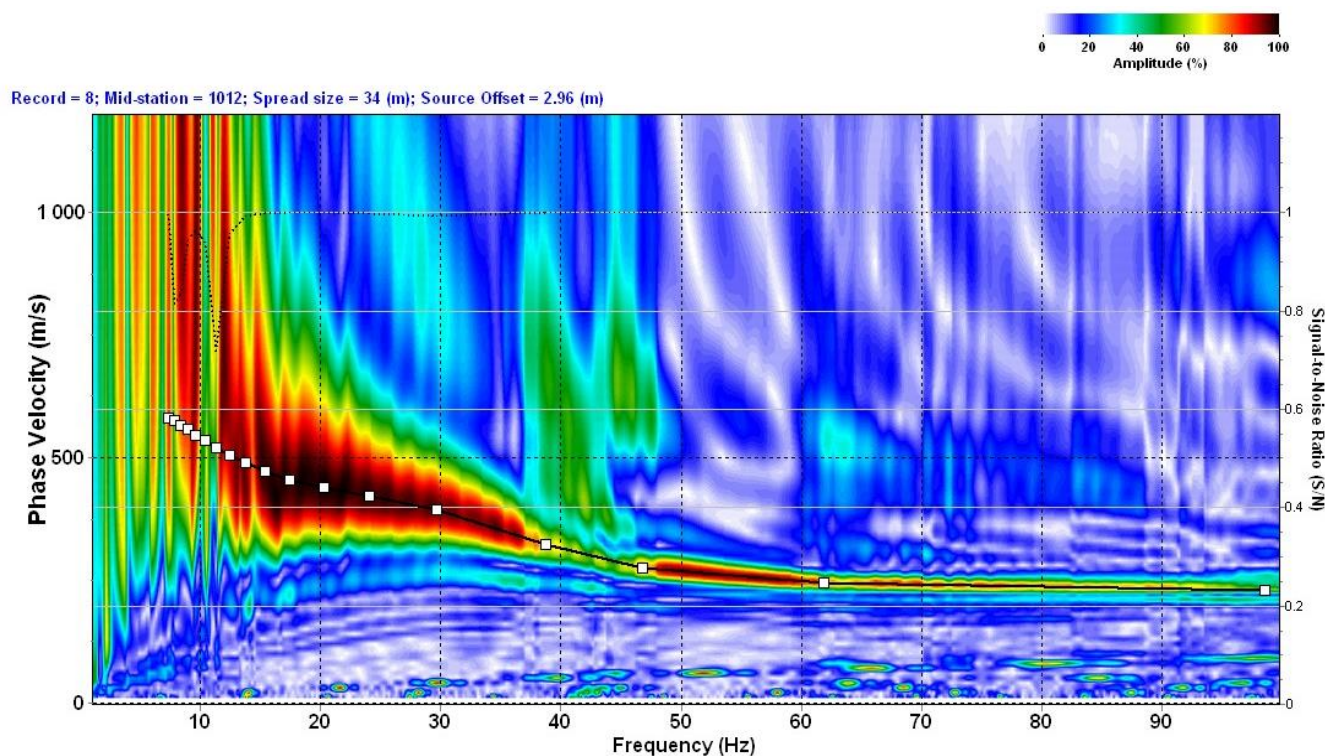
Zona	32T
EST	385757
NORD	4920368

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



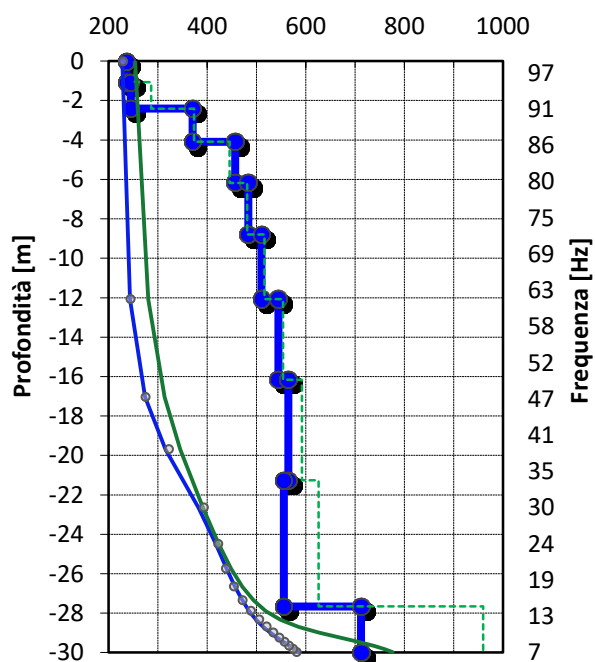
COMMITTENTE	Dott. Geol. Viada	SISMOGRAFO	DAQ LINK IV	
RELAZIONE	4593/19	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	Area API2.OS, Comune di Cuneo	ACQUISITION TIME	1.0 s	ALLEGATO A
DATA	01/10/2019	SAMPLE INTERVAL	0.50 ms	Pagina 2

PROVA MASW - CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO

Velocità onde di taglio Vs [m/s]



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]		Vs [m/s]
	da	a	
1	0.0	-1.1	237
2	-1.1	-2.4	245
3	-2.4	-4.1	370
4	-4.1	-6.2	457
5	-6.2	-8.8	484
6	-8.8	-12.1	510
7	-12.1	-16.2	544
8	-16.2	-21.3	564
9	-21.3	-27.7	556
10	-27.7	-30.0	712

Codice di calcolo: SurfSeis 6.4.1

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, 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.	482 (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).

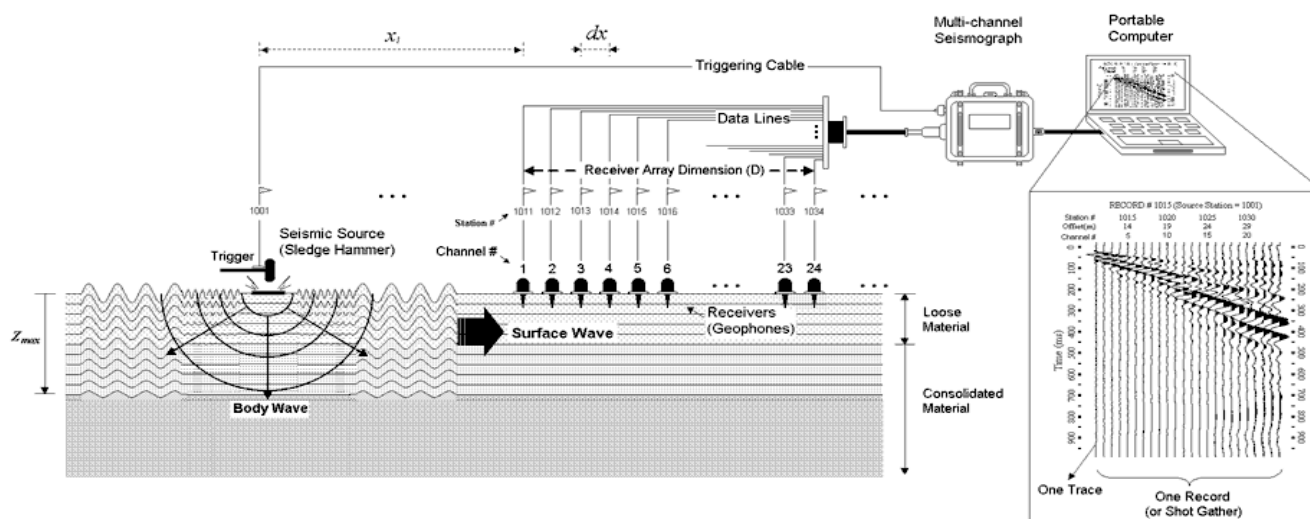


Figura 1 - Schema di acquisizione dati MASW

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).

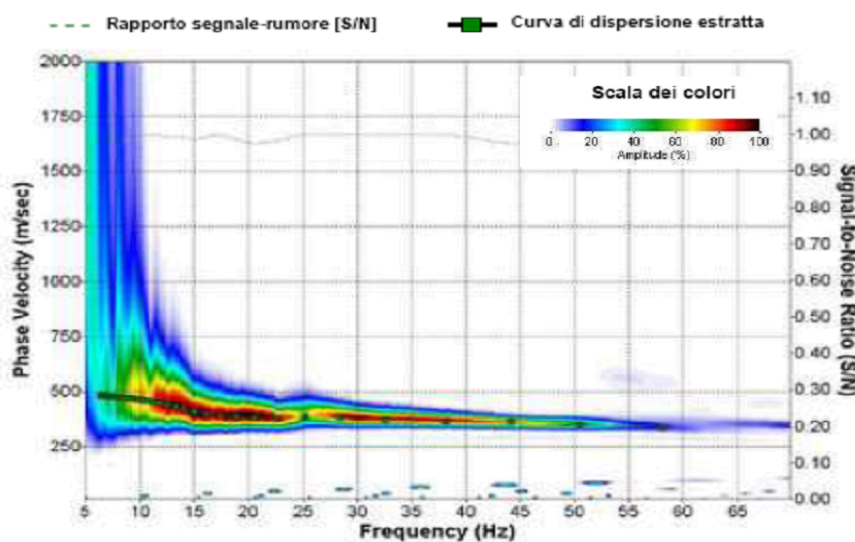


Figura 2 - Curva di dispersione della velocità Vs in funzione della frequenza e della velocità di fase

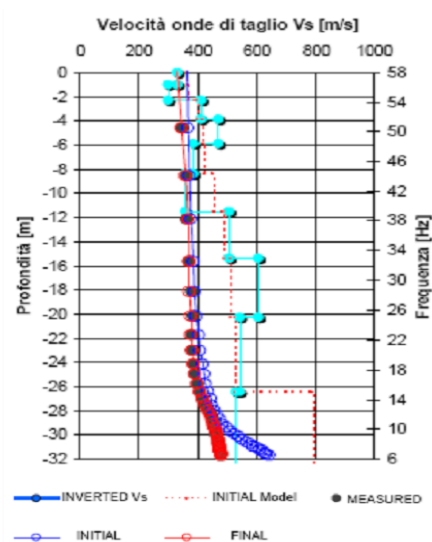


Figura 3 - Modello di propagazione delle velocità delle onde Vs