

Comune di Rovereto

Provincia di Trento

Domanda

Piano di Lottizzazione 06a Via Abetone - SUD

Ambito B

di proprietà della ditta C.L.A.I.P.A. S.p.A.

committente C.L.A.I.P.A. S.p.A.
Via Roma, n. 34
46100 Mantova

progettista ing. Pietro Fogliato



Pietro Fogliato

studio tecnico Pietro Fogliato ingegnere civile Via Robert Kennedy, n°33 37060 Lugagnano di Sonà (VR) Cell. 3343371636 - fax 0454686725 mail: pietrofogliato@tiscali.it c.f. FGL PTR 72E27 L157T p.IVA 03435300235 Albo ingegneri VR n. A2955	Relazione geologica e Relazione geotecnica	agg.
		00
		scala
		varie
data		
Luglio 2018		
elaborato		
C		



PUNTO VENDITA CARBURANTI ROVERETO (TN)

VIA ABETONE 53

RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI DEL SITO (CONTIENE LA RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE)

INTERGEO Italia S.r.l – Environmental Technologies

Milano - Via Civitali, 75 - Tel. +39 02 40098039 / 40095252 - Fax. +39 02 48715922 / 40011852

Torino – Via Rismondo, 35 - Tel. +39 011 6476231 - Fax +39 011 6405489

italy@intergeo.com

Preparato per:

C.L.A.I.P.A. S.p.A., Via Roma 34, 46100 Mantova (MN)

Rif.: 0001/18/005

Luglio 2018

**PUNTO VENDITA CARBURANTI
ROVERETO (TN)**

VIA ABETONE 53

**RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI DEL SITO
(CONTIENE LA RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE)**

Elaborato da:



Dott. Geol. Domenico Veneziano

Ordine dei Geologi della Toscana

N. 1581 sez. A

INTERGEO ITALIA S.r.l.
Luglio 2018
Rif.: O001/18/005

INDICE

1	Introduzione	4
1.1	Normativa nazionale di riferimento	5
1.2	Normativa provinciale di riferimento.....	5
2	Ubicazione e caratteristiche del sito	6
2.1	Caratteristiche attuali dell'area.....	6
2.2	Strumenti urbanistici	6
2.2.1	Piano Generale di Utilizzo delle Acque Pubbliche (P.G.U.A.P.)	6
2.2.2	Carta di Sintesi Geologica (PUP)	7
2.2.3	Carta di Sintesi della Pericolosità	8
3	Inquadramento geologico e idrogeologico del sottosuolo	12
3.1	Inquadramento geologico e geomorfologico con elementi tettonici	12
3.2	Inquadramento idrogeologico	14
4	Indagine Geognostica realizzata	16
4.1	Descrizione dei sondaggi eseguiti	16
4.2	Descrizione dell'indagine geofisica realizzata	17
5	Modelli di Riferimento	18
5.1	Modello Geologico di Riferimento	18
5.1.1	Affidabilità Modello Geologico di Riferimento	19
5.2	Modello Sismico di Riferimento	19
6	Conclusioni	24

Tavole

1. Planimetria area e ubicazione punti di indagine

Allegati

1. Documentazione fotografica
2. Stratigrafie dei sondaggi
3. Report Indagine Geofisica

1 Introduzione

Nella presente Relazione Geologica, redatta in conformità al DM 17 Gennaio 2018 (NTC2018) su incarico della C.L.A.I.P.A. S.p.A, si illustrano le caratteristiche geologiche relative al lotto di proprietà del committente sito in Via Abetone 53 nel territorio comunale di Rovereto (TN) (Figura 1). Si tratta di una superficie di 2700 mq, identificata dalle particelle catastali 474/16, 532 e 1714, ubicata a Sud-Ovest del centro cittadino in corrispondenza dell'incrocio tra Via del Garda e Via Abetone e occupata attualmente da un Punto Vendita carburanti. Il documento è redatto a supporto del Piano di Lottizzazione 06a ambito B come previsto dalle prescrizioni di legge. Nell'area è prevista la costruzione di una struttura ricettiva e la sistemazione delle aree adiacenti con parcheggi e aree verdi.

Il documento descrive in particolare le caratteristiche dell'area e il modello geologico e riporta la ricostruzione concettuale del sito sulla base delle peculiarità genetiche dei terreni presenti, dei termini litologico-stratigrafici, dei rapporti geometrici tra le formazioni, delle strutture tettoniche e delle forme. La descrizione delle caratteristiche litologiche, stratigrafiche, strutturali geomorfologiche e idrogeologiche è stata indirizzata alla definizione di un quadro di pericolosità generale e, successivamente, viene impiegata come riferimento per il modello geotecnico di supporto alla progettazione delle opere previste. Il modello geologico è stato ricostruito sulla base delle informazioni reperite in bibliografia e cartografia disponibile, dalle osservazioni in campagna e dall'analisi dei risultati delle indagini geognostiche e geotecniche in situ eseguite.

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del D.M. 14 gennaio 2008 Nuove norme tecniche per le costruzioni e aggiornamento D.M. 17 gennaio 2018 e costituisce la relazione geologica specialistica del progetto strutturale di cui al capitolo 10.1., C10.1 punto 5.1.

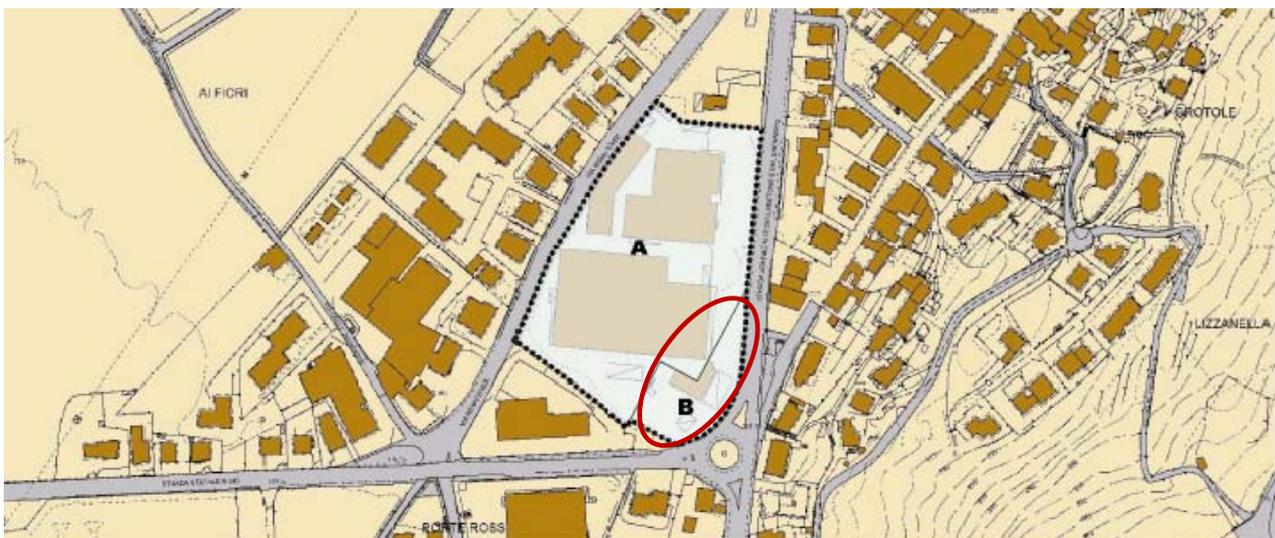


Figura 1 – Ubicazione del sito. Cartografia allegata al PL06 (Piano di Lottizzazione convenzionata)

1.1 Normativa nazionale di riferimento

- *DM 14.01.2008 Norme tecniche per le costruzioni*
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, *Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”*.
- *Norme Tecniche per le Costruzioni NTC2018*
- *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. AGI (1977)*
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n° 152 – *Norme in materia ambientale*
- Decreto Ministeriale LL. PP. 11 marzo 1988. *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.*
- Circolare Ministeriale LL. PP. 24 settembre 1988 n. 3483. *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. Istruzioni per l'applicazione.*

1.2 Normativa provinciale di riferimento

- *Direttive per la redazione delle relazioni geologiche, geotecniche e sismiche ai sensi delle NTC, DM14.01.2008, e della normativa nazionale e provinciale collegata. Ordine degli Ingegneri della Provincia di Trento, Ordine degli ingegneri della provincia di Bolzano, Ordine dei Geologi della Regione Trentino Alto-Adige Südtirol.*
- *Delibera n. 2919 della G.P del 27 dicembre 2012, Norme di Attuazione Carta di Sintesi Geologica*
- *Legge Provinciale 27 maggio 2008 n.5*
- *Piano Regolatore Generale – Città di Rovereto*
- *D.P.R. 15 febbraio 2006 Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche della Provincia autonoma di Trento (P.G.U.A.P.).*

2 Ubicazione e caratteristiche del sito

2.1 Caratteristiche attuali dell'area

L'area in esame ha una superficie di circa 2700 mq ed è attualmente occupata da un Punto Vendita carburanti (PV).

L'area si affaccia ad Est su via Abetone ed a Sud su via del Garda, ad Ovest e a Nord confina con una zona commerciale. Nella porzione Sud-Ovest uno spazio pavimentato sgombro da strutture confina con i locali della costruzione esistente che si sviluppa a forma di 'L' sull'angolo convesso definito dallo sviluppo della proprietà nella porzione più lontana dalla strada, allungata in direzione Nord Ovest – Sud Est.

Il PV è attualmente dotato dei seguenti serbatoi (Tavola 1):

- n. 3 serbatoi di Benzina Senza Piombo (BSP) da 10 m³ (serbatoi 1, 2 e 3);
- n. 5 serbatoi di Gasolio da 10 m³ (serbatoi 4, 5, 7, 8 e 9);
- n. 1 serbatoio di Benzina Senza Piombo (BSP) da 6 m³ (serbatoio 6).

Il PV è fornito di n°2 pensiline e n°2 isole di erogazione sulla porzione che costeggia via Abetone.

2.2 Strumenti urbanistici

Sulla base della cartografia disponibile, riportata negli stralci del PGUAP, nella Carta di Sintesi Geologica (PUP) e nella Carta delle Pericolosità si osservano le criticità e le qualità geologico-tecniche caratteristiche del sito. La cartografia riportata nei seguenti paragrafi è tratta dal S.I.A.T., il sistema informativo territoriale della Provincia Autonoma di Trento (P.A.T.).

2.2.1 Piano Generale di Utilizzo delle Acque Pubbliche (P.G.U.A.P.)

Il Piano Generale di Utilizzo delle Acque Pubbliche è stato approvato ai sensi di quanto previsto dall'art.14 dello Statuto di Autonomia ed alla modifica del D.P.R. 22 marzo 1974 n.381 e dal D.lgs 11 novembre 1999 n.463; questo rappresenta lo strumento per la pianificazione e la gestione delle acque che integra aspetti relativi alla difesa del suolo, al risanamento e all'ottimizzazione della risorsa idrica.

Le aree a rischio vengono suddivise in quattro classi di peso crescente (R1, R2, R3, R4) della pericolosità e del valore di danno (in termini di danneggiamento dei beni presenti e perdita di vite umane) attesi.

Nella Carta di Assetto Idrogeologica allegata al PGUAP il sito non presenta criticità di natura idrogeologica, la pericolosità idrogeologica è classificata nulla mentre nella Carta del Rischio Idrogeologico il valore è R0. L'area oggetto di intervento non interferisce con aree soggette a vincolo idrogeologico, caratterizzate da pericolosità o aventi elementi a rischio. Nella carta di sintesi in cui è presente il livello Carta del valore d'uso del suolo l'area viene classificata come residenziale.

Di seguito (Figura 2) si riporta l'estratto della Carta di Assetto Idrogeologico del PGUAP dal sito www.gis.provincia.tn.it contenente l'area di intervento: comprende i tre livelli di sintesi Carta del Valore di Uso del Suolo, Carta della Pericolosità Idrogeologica e Carta del Rischio Idrogeologico.

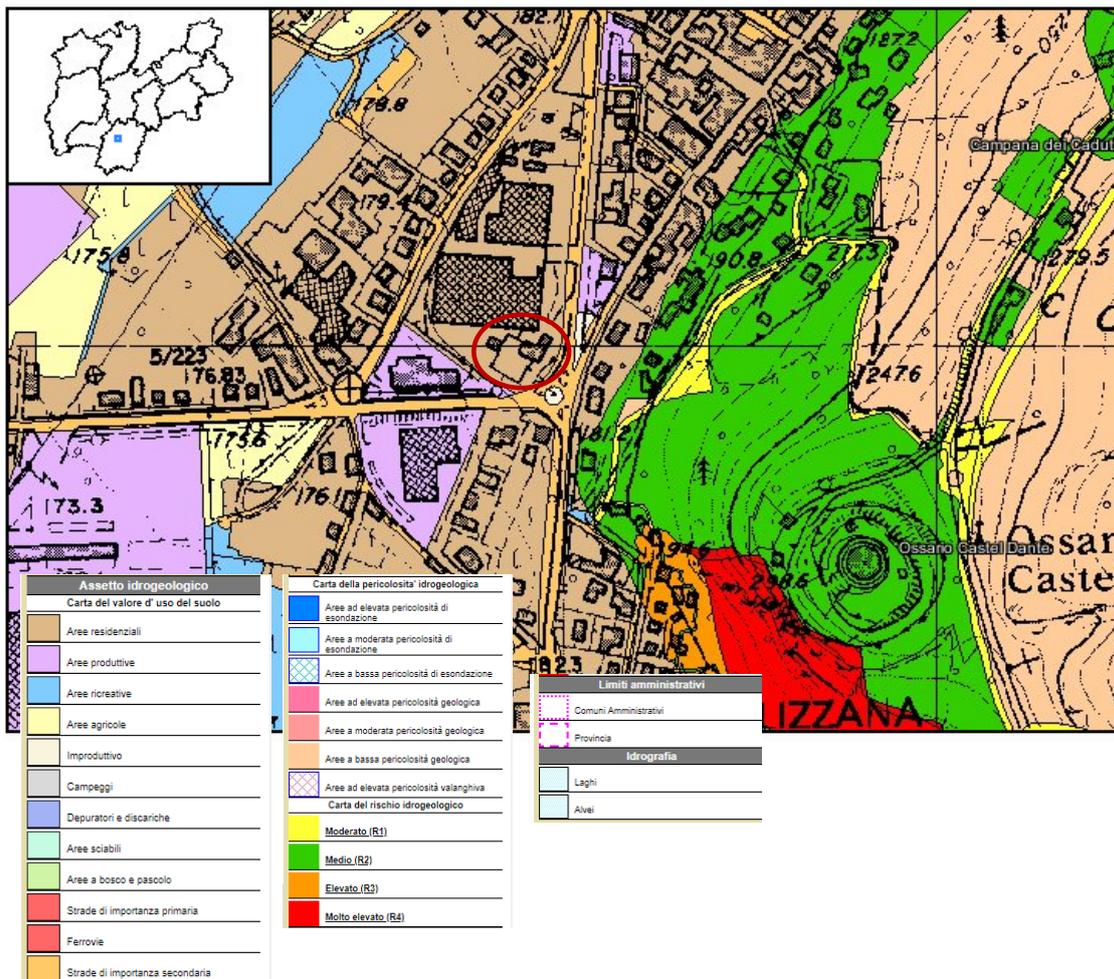


Figura 2 – PGUAP – Assetto Idrogeologico del sito

2.2.2 Carta di Sintesi Geologica (PUP)

Con delibera n°1813 il 27 Ottobre 2014 la Giunta Provinciale ha approvato, ai sensi delle norme di attuazione del PUP, l'ottavo aggiornamento della Carta di Sintesi Geologica, il quale è entrato in vigore il giorno 5 novembre 2014 a seguito della pubblicazione sul Bollettino Ufficiale della Regione Trentino Alto Adige del 4 novembre 2014. Dal 2008, con il quarto aggiornamento, la Carta di Sintesi Geologica contiene il tematismo riguardante la tutela delle risorse idriche.

L'area di studio si colloca all'interno delle aree senza penalità geologiche.

Dal punto di vista sismico l'area viene collocata all'interno delle aree a controllo sismico a bassa sismicità (zona sismica 3).

Di seguito (Figura 3) si riporta un estratto dal sito www.gis.provincia.tn.it della Carta di Sintesi Geologica contenente l'areale di studio.

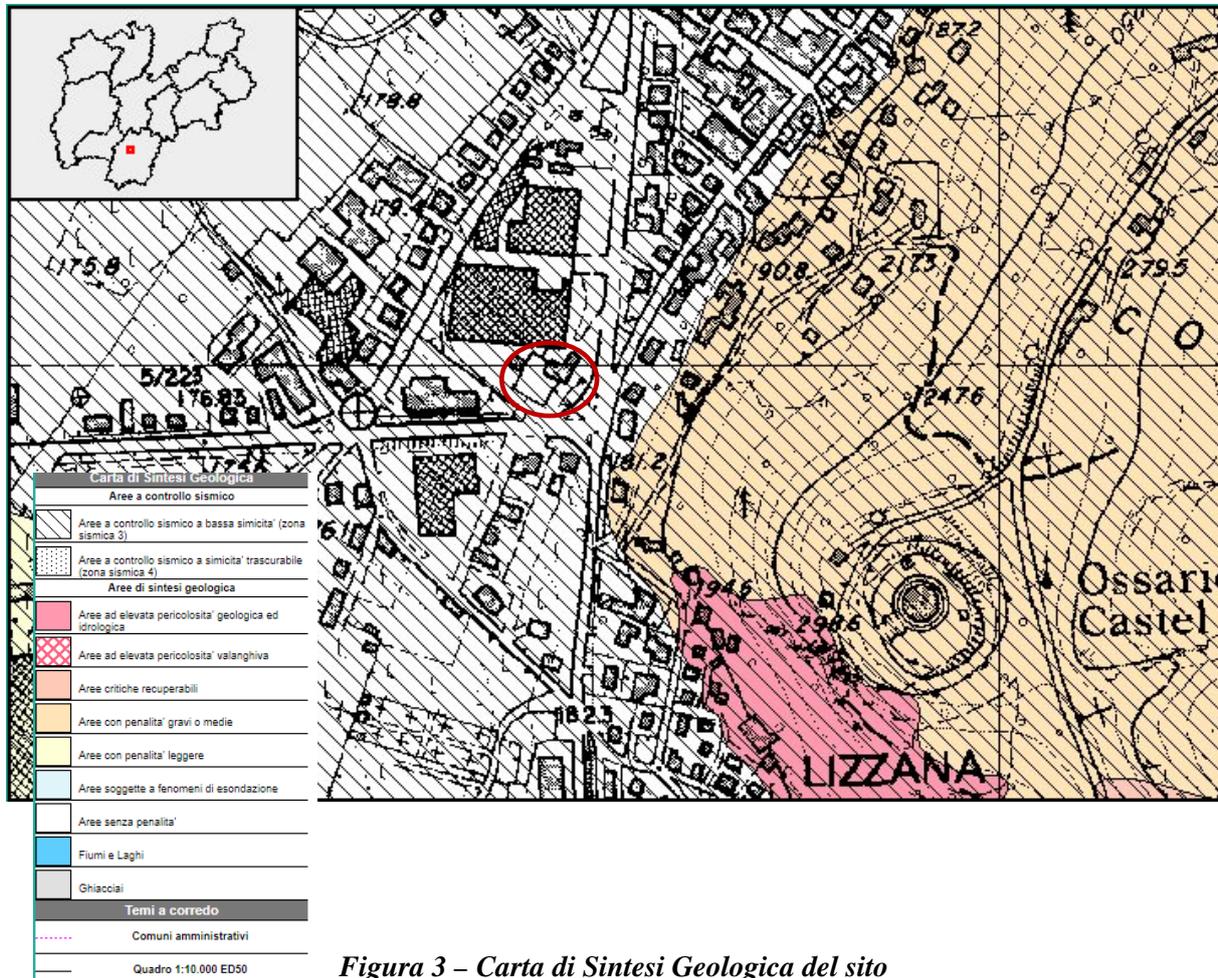


Figura 3 – Carta di Sintesi Geologica del sito

2.2.3 Carta di Sintesi della Pericolosità

La Carta di Sintesi della Pericolosità introdotta con l'approvazione del Piano Urbanistico Provinciale (PUP) rappresenta lo strumento di unificazione dei dati concernenti il territorio volti alla classificazione della instabilità del territorio. Il risultato è un quadro di sintesi organico di riferimento per la pianificazione territoriale sulla base delle pericolosità.

La Carta di Sintesi della Pericolosità individua aree caratterizzate da gradi di penalità differente: elevata, media, bassa e altri tipi di penalità normando gli interventi urbanistici sulla base degli articoli 15-16-17-18 del PUP.

Nella Cartografia di Sintesi della Pericolosità litogeomorfológica il sito ricade in classe P1 (Pericolosità trascurabile o assente). Di seguito (Figura 4) si riporta l'estratto della cartografia dalla sezione webgis del sito <http://www.urbanistica.provincia.tn.it>.

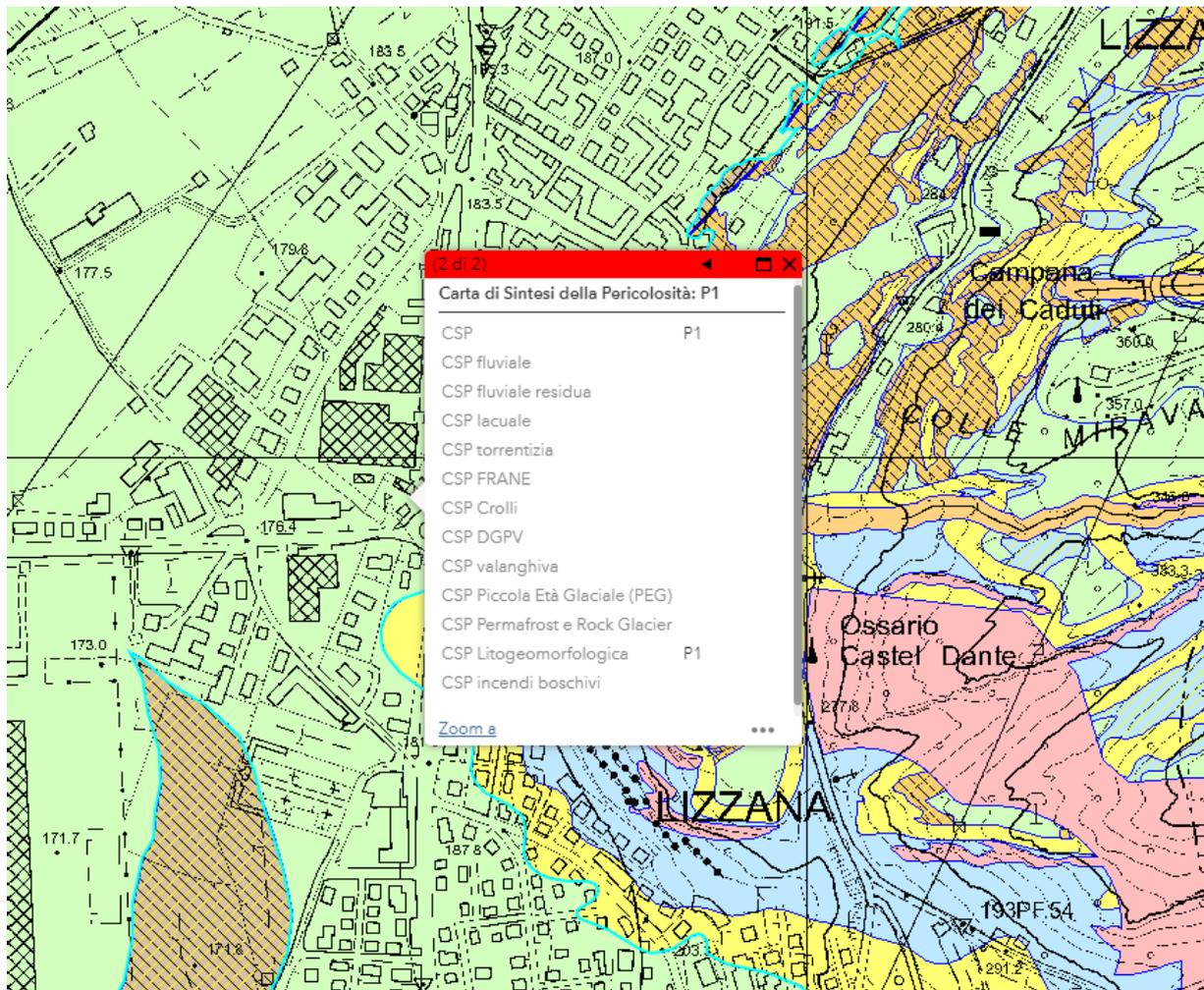


Figura 4 – Carta di Sintesi della Pericolosità Litogeomorfológica del sito

Dal punto di vista della Pericolosità Sismica l'area viene inquadrata in "area suscettibile di bassa amplificazione stratigrafica" (Figura 5).



Figura 5 – Carta di Sintesi della Pericolosità Sismica del sito

Il suolo di fondazione viene inoltre attribuito alla categoria B nella Carta di Classificazione Sismica dei Suoli di Fondazione. Di seguito (Figura 6) se ne riporta uno stralcio dal sito

<http://www.protezionecivile.tn.it> sezione webgis.

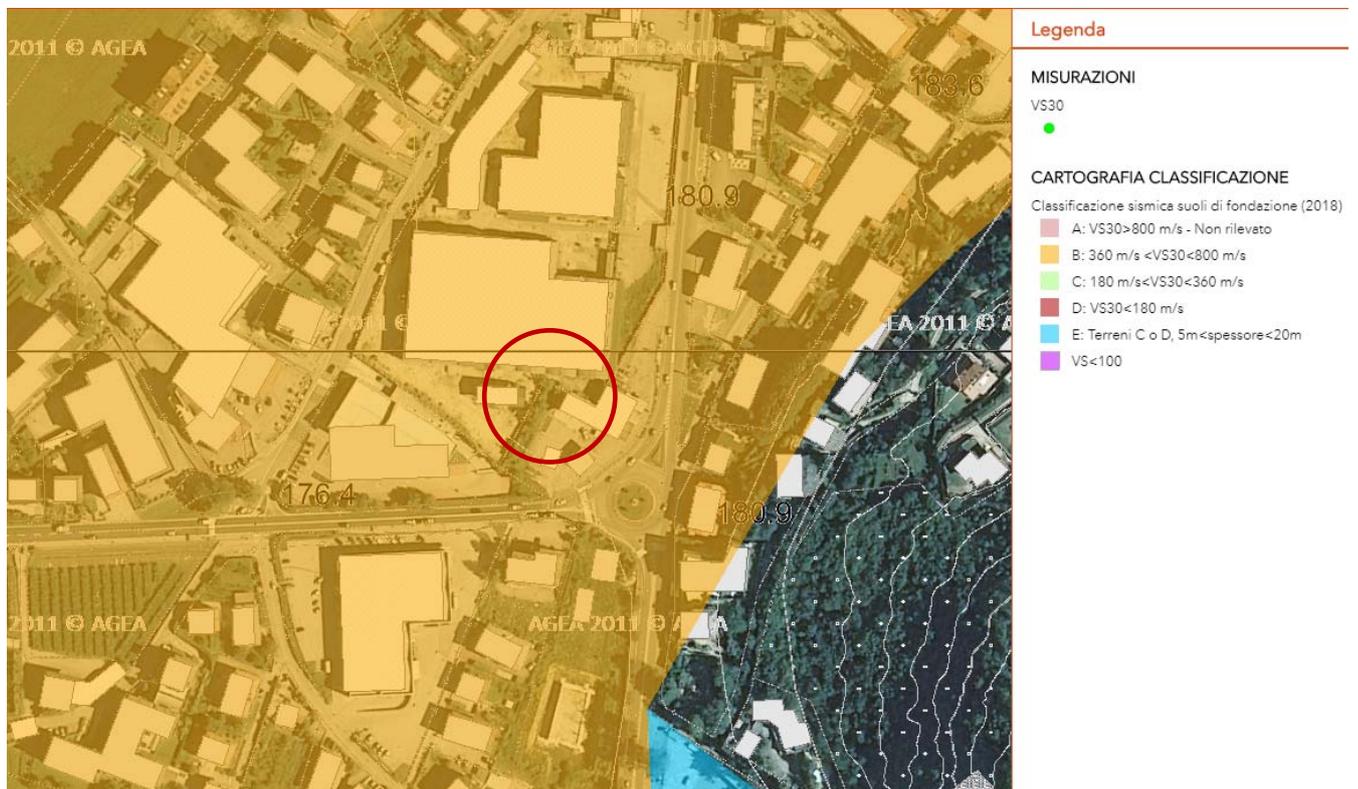


Figura 6 – Carta di Classificazione Sismica dei Suoli di Fondazione

Di seguito si riporta un estratto della Carta delle Risorse Idriche (Figura 7) da cui si evince che l'area di pertinenza del PV e l'intorno non vengono inseriti in nessuna zona di tutela o rispetto di opere di approvvigionamento, pozzi e sorgenti.

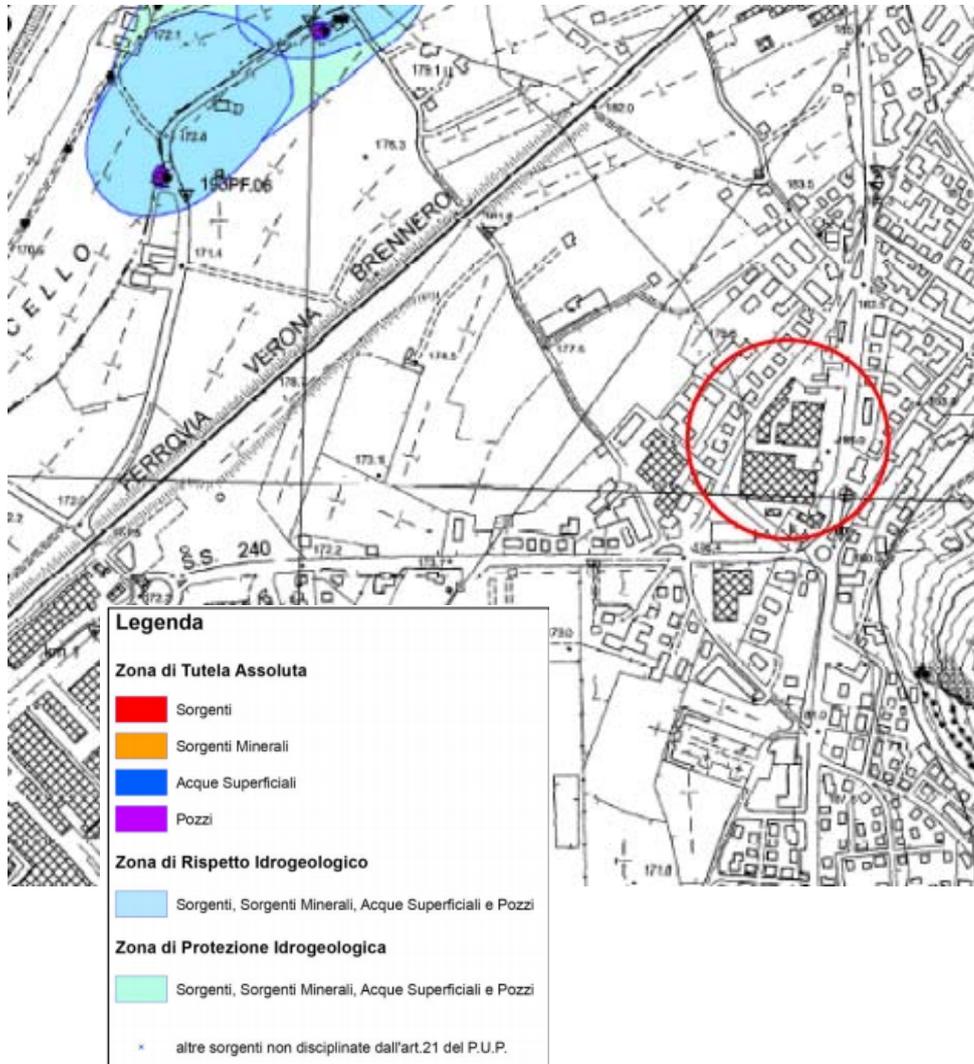


Figura 7 – Carta delle Risorse Idriche

3 Inquadramento geologico e idrogeologico del sottosuolo

3.1 Inquadramento geologico e geomorfologico con elementi tettonici

Le informazioni relative alla geologia dell'area di studio sono derivate dalla lettura della Carta Geologica, Sezione 81090, scala 1:10000 del Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento (Figura 8).

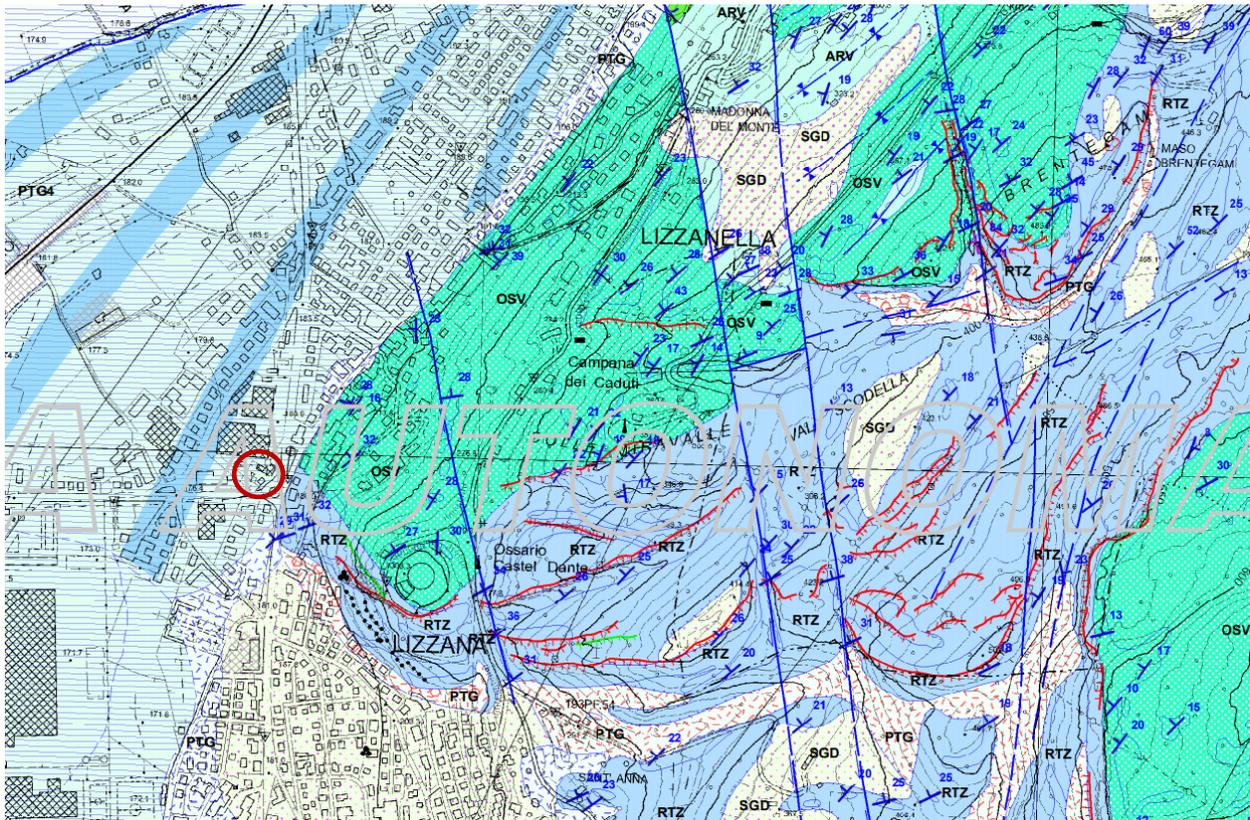


Figura 8: Estratto della Carta Geologica Sezione 81090

La depressione morfologica lagarina presenta caratteri derivati dalla successione di fasi glaciali e fluviali che per tutto il Quaternario hanno interessato il territorio; una alternanza di processi erosivi e deposizionali precedenti e concomitanti con le ultime espansioni glaciali. La valle, delimitata da versanti rocciosi, si allunga da Nord a Sud ed è percorsa per tutta la sua estensione dal fiume Adige e, obliquamente, dai suoi affluenti (il Torrente Leno nell'intorno dell'area di studio).

Il materiale che costituisce il fondovalle è rappresentato da depositi morenici e sedimenti fluvioglaciali del ghiacciaio atesino risalenti alla fine della glaciazione würmiana, sormontati da una spessa successione di sedimenti alluvionali dell'Adige e secondariamente dai corsi minori, da colate di detrito e depositi di versante. I depositi fluviali recenti, rappresentati da depositi di piena dell'Adige, sono rappresentati da

depositi di alta energia, lenti ghiaiose-sabbiose dei paleoalvei, e da depositi sabbioso-limosi e/o sabbiosi delle aree di esondazione e di meandri abbandonati. Questi sedimenti si interdigitano ai depositi di conoide alluvionale del Torrente Leno, rappresentati da materiale grossolano privo o quasi di matrice fine. L'andamento attuale del fiume Adige è stato definito dalle strutture tettoniche e dallo sbarramento di depositi alluvionali e di conoide del reticolo minore, che nell'area di interesse è rappresentato dal torrente Leno.

Il territorio è stato interessato da una fase tettonica distensiva nel Permiano seguita da una fase compressiva neogenica. Le evidenze della storia tettonica dell'area sono rappresentate dalle faglie normali (fase distensiva) con direzione NE-SW, NW-SE, N-S riattivatesi successivamente durante la fase di raccorciamento. Le evidenze di una fase compressiva medio - alta giurassica sono testimoniate dalla sinclinale nel Rosso Ammonitico affiorante a Nord Est dell'area di studio in prossimità di Lizzanella.

L'area di interesse è sulla sinistra idrografica del fiume Adige, sulla porzione alluvionale/detritica in prossimità dei rilievi carbonatici sudorientali che a Sud Ovest si interrompono sui depositi glaciali e di versante del Sintema Postglaciale Alpino del Pleistocene superiore Olocene. La quota del piano campagna, dal rilievo di Lizzana degrada dolcemente verso il fiume Adige.

La geologia di superficie del sito è rappresentata dai depositi di conoide alluvionale del torrente Leno appartenenti al Subsintema di Ala, composti da diamicton matrice o clasto sostenuti, da ghiaie e blocchi grossolanamente stratificati in matrice sabbiosa e limosa. Questi sono oblitterati dai depositi alluvionali più recenti lungo il corso del Fiume Adige e del Torrente Leno e dai depositi di versante a Ovest.

La porzione di substrato dell'area, rappresentata da facies delle formazioni calcaree Giurassiche in contatto stratigrafico inconforme che immergono verso la valle con inclinazione media di circa 30°, è in affioramento sui rilievi e presenta vari segmenti tettonici, faglie trascorrenti con prevalente componente sinistra. Queste litologie, sormontate localmente da:

- PTG Sintema Postglaciale Alpino: *Depositi glaciali, di frana a grandi blocchi, di versante, rockglacier, alluvionali, da debris flow, lacustri e palustri con presenza di copertura pedogenetica. Età Pleistocene superiore – Olocene.* (Provincia Autonoma di Trento, Servizio Geologico. *Legenda della Carta Geologica – Descrizione delle Unità.* Novembre 2017),
- PTG4 Sintema Postglaciale Alpino, Subsintema di Ala: *Depositi alluvionali formati da ghiaie e sabbie, talora con massi, raramente da limi e sabbie, grossolanamente stratificate o con stratificazione orizzontale o incrociata. Depositi di debris flow e alluvionali, composti da diamicton a supporto di matrice o clasti, da ghiaie e blocchi grossolanamente stratificati talora in matrice limoso-sabbiosa. Spessore da alcuni metri a varie decine di metri. Età Olocene.* (Provincia

Autonoma di Trento, Servizio Geologico. *Legenda della Carta Geologica – Descrizione delle Unità*. Novembre 2017),

sono rappresentate da:

- OSV Oolite di San Virgilio: *Calcari oolitici grigio-giallastri a crinoidi, encrini rosse, in strati spessi talora a stratificazione incrociata; presenti calcari giallastri a echinoidi mal stratificati (Giallo di Mori). Spessore da 0 a 60m. Età Toarciano – Aaleniano inferiore.* (Provincia Autonoma di Trento, Servizio Geologico. *Legenda della Carta Geologica – Descrizione delle Unità*. Novembre 2017).
- RTZ Formazione di Rotzo: *Calcari micritici grigi con molluschi (Lithiotis) e foraminiferi (Orbitopsella), con interstrati di marne scure, calcareniti di oolitiche in strati da medi a spessi. Spessore da 0 a 250m. Età Sinemuriano superiore – Pliensbachiano.* (Provincia Autonoma di Trento, Servizio Geologico. *Legenda della Carta Geologica – Descrizione delle Unità*. Novembre 2017).

La ricostruzione stratigrafica locale è stata dedotta dalle indagini geognostiche effettuate, questa si rinvia al capitolo successivo.

3.2 Inquadramento idrogeologico

Il sistema idrografico trentino è condizionato fortemente dalla morfologia territoriale, caratterizzata da ampie valli glaciali, da sezioni ad “U”, contornate da versanti rocciosi e ripidi, come la Valle dell’Adige e del Basso Sarca, e valli incise con alternanza di cenge e lievi pendii moderati a seconda dell’affioramento di rocce più o meno erodibili, come ad esempio la zona delle Dolomiti. Ne conseguono corsi d’acqua con regime torrentizio nelle zone montane a maggiore acclività caratterizzate da acque con forte ossigenazione e temperature piuttosto rigide (in genere inferiori ai 10°C) spesso originate da ghiacciai in quota, e fiumi che scorrono nei fondovalle e assumono in qualche caso, in zone ancora poco antropizzate, andamenti a tratti meandriiformi.

Gli acquiferi sotterranei rappresentano un ecosistema complesso e spesso fortemente interagente con gli ecosistemi superficiali. In relazione alle caratteristiche geologico-strutturali e morfologiche del territorio, le strutture degli acquiferi sotterranei si possono identificare in tre gruppi principali: strutture delle valli sovralluvionate alpine, strutture carbonatiche e strutture delle coltri eluviali e dei depositi quaternari sciolti di pendio nei massicci cristallini e metamorfici.

Le valli sovralluvionate alpine sono costituite da un materasso di terreni quaternari diversi per composizione litologica e permeabilità; derivando sia da depositi fluviali molto grossolani e conducibili, sia da depositi di tipo lacustre a conducibilità ridotta o assente. Nelle valli principali (Adige, Sarca, Valsugana,

Giudicarie inferiori) il materasso quaternario raggiunge potenze considerevoli (a Trento ad esempio supera i 600 metri).

L'idrografia superficiale della zona è schematizzabile con l'asta principale che percorre il fondovalle, il fiume Adige, e dal suo affluente in sinistra idrografica, rappresentato dal torrente Leno, che ha depositato una spessa ed ampia conoide alluvionale. Da un punto di vista idraulico il fiume Adige costituisce il locale livello di base della circolazione idrica, superficiale e sotterranea, e le sue variazioni regolano quelle dell'acquifero di fondovalle. La parte nord-orientale dell'area è sottesa dal conoide costruito dal torrente Leno quindi dal suo acquifero alluvionale sovrapposto per interdigitazione all'acquifero di fondovalle. Nella zona di studio i versanti della valle sono costituiti da massicci carbonatici che ospitano una circolazione idrica di tipo prevalentemente carsico, quindi un contributo all'acquifero viene anche da loro sversamenti nello stesso.

La geometria dell'acquifero di questo settore del fondovalle lagarino è stata ricostruita partendo dalla stratigrafia di una perforazione profonda eseguita in località Navesèl per scopi idropotabili e spinta fino a 167 m dalla quota del piano campagna. La situazione idrostrutturale del sito risulta sostanzialmente caratterizzata dalla presenza nel sottosuolo di due acquiferi, separati da un livello di materiali coesivi di confinamento. Il primo orizzonte produttivo è di tipo freatico con spessore saturo intorno ai 30-40 m; esso si configura molto trasmissivo, in connessione idraulica diretta con il fiume Adige, ed è contraddistinto da una elevata vulnerabilità intrinseca. Il secondo livello, compreso tra 60 e 90 m di profondità, è di tipo semiconfinato ed in condizioni di equilibrio idraulico con la falda freatica.

In linea generale la direzione del deflusso della falda acquifera in questa zona si orienta da nord-est verso sud-ovest, quindi secondo l'andamento radiale del conoide alluvionale del torrente Leno, come concordano anche tutti gli studi esaminati in bibliografia.

4 Indagine Geognostica realizzata

Per la ricostruzione del modello geologico del sito e la definizione del successivo modello geotecnico di sottosuolo necessario alla progettazione, sono state eseguite le seguenti attività di indagine:

- n. 1 sondaggio, denominato S1, eseguito a secco e a carotaggio continuo fino alla profondità massima di 13 m dal p.c.;
- n. 2 sondaggi, denominati S2 ed S3, eseguiti a secco e a carotaggio continuo fino alla profondità massima di 5 m dal p.c.;
- esecuzione di prove penetrometriche dinamiche puntuali del tipo S.P.T. (Standard Penetration Test), realizzate all'interno del foro di sondaggio S1 a profondità variabili, per la determinazione delle caratteristiche di consistenza dei terreni granulari (ghiaie e sabbie);
- Esecuzione di indagini di prospezione geofisica allo scopo di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni di interesse.

L'ubicazione delle indagini effettuate in sito è indicata nella Tavola 1.

Di seguito si fornisce la descrizione delle attività effettuate.

4.1 Descrizione dei sondaggi eseguiti

L'investigazione del sottosuolo in esame è stata effettuata mediante la realizzazione di n. 3 sondaggi (S1, S2, S3, Tavola 1) eseguiti nei giorni compresi fra il 12 ed il 15 giugno 2018 a carotaggio continuo e a secco, senza l'uso di acqua fino a fondo foro.

A titolo riassuntivo, nella Tabella 1 seguente si riporta l'elenco dei sondaggi effettuati e la relativa profondità dal piano campagna.

Sondaggio [-]	Profondità di indagine [m]
S1	13
S2	5
S3	5

Tabella 1: Elenco e profondità dei sondaggi eseguiti

Tali sondaggi hanno consentito di caratterizzare dal punto di vista geologico il sottosuolo del sito in esame. Si sottolinea che in fase di perforazione, dalla profondità di 9,7 m a 10 m dal p.c., è stato rinvenuto uno strato ad alta percentuale di umidità, ma non è stata rinvenuta la presenza di acqua di falda.

La documentazione fotografica delle carote estratte è riportata in Allegato 1.

La documentazione stratigrafica è riportata in Allegato 2 (stratigrafie per sondaggio).

4.2 Descrizione dell'indagine geofisica realizzata

Le indagini geofisiche condotte in sito sono state finalizzate alla determinazione del profilo verticale della velocità delle onde sismiche longitudinali e trasversali (V_p e V_s), del parametro V_{s30} (o $V_{s,eq}$) ed infine della frequenza di risonanza del terreno.

A tale scopo le prove, eseguite nel giugno 2018, sono state costituite da:

- Esecuzione di N. 1 stendimento geofonico per l'esecuzione di indagine sismica attiva, tramite prova tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).
- Esecuzione di N. 2 punti di acquisizione per l'esecuzione di indagini sismiche passive, tramite prove tipo HVSR (Horizontal over Vertical Signal Ratio).

L'apparecchiatura utilizzata in fase di acquisizione dei dati di campo è un sismografo 24 bit per prospezione sismica, della casa MAE, modello A6000S. Caratteristica principale di questo sismografo risulta essere la risoluzione di 24 bit effettivi per ogni singolo canale, nonché la possibilità di acquisire dati relativi a tutte le tipologie di prospezione sismica, sia attiva che passiva.

Per il dettaglio dell'indagine geofisica realizzata si rimanda la report, redatto a cura dell'impresa esecutrice Studio Zulberti, riportato in Allegato 3.

Sulla base delle indagini di prospezione geofisica condotte in sito, sono emersi i seguenti risultati:

- 1) L'indagine tramite metodologia MASW ha permesso la ricostruzione sismo-stratigrafica della zona di indagine, evidenziando un andamento crescente della velocità delle onde di taglio con la profondità;
- 2) Sulla base del profilo verticale delle V_s è stato possibile calcolare il parametro $V_{s,eq}$, che è risultato essere pari a 328,80 m/s (considerando un ipotetico piano di fondazione posto ad 1 m di profondità dal p.c.). Data la presenza nel bedrock alla profondità di circa 10 m dal p.c. la categoria di sottosuolo, secondo le NTC 2018, è attribuibile al 'Tipo E'.
- 3) L'elaborazione dati relativi al rumore sismico di fondo con la tecnica HVSR ha evidenziato valori delle V_s in linea con quanto calcolato tramite l'indagine MASW. Le indagini di sismica passiva hanno inoltre permesso di quantificare la frequenza di risonanza propria del sito, la quale è risultata essere compresa tra 9,25 e 7,10 Hz.

5 Modelli di Riferimento

5.1 Modello Geologico di Riferimento

L'analisi del log stratigrafico ottenuti dai sondaggi effettuati in sito ha permesso di definire la stratigrafia di dettaglio dell'area indagata, come di seguito sintetizzato.

- In superficie, sotto una coltre di asfalto con spessore medio pari a circa 0,2 m, sono presenti terreni di probabile riporto costituiti da terre e rocce con tracce di materiale di origine antropica fino alla profondità di circa 1,6 m da piano campagna.
- Da questa profondità si incontrano sedimenti naturali costituiti da ghiaie eterometriche con ciottoli di natura calcarea (diametro massimo da sondaggio 7-8 cm), da sub-angolose a subarrotondate, immerse in una abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa.
- Alla profondità di circa 9 m si assiste ad un passaggio sedimenti tipici di ambienti fluviali dotati di elevata energia attribuibili alle alluvioni del fiume Adige, costituiti da ghiaie eterometriche con ciottoli poligenici (diametro massimo da sondaggio 8-10 cm), da sub-angolosi a subarrotondati, in una matrice fine sabbioso-limosa. Localmente sono presenti intercalazioni decimetriche a prevalente matrice limoso sabbiosa che denotano, invece, il prevalere di fasi deposizionali caratterizzate da più bassa energia di trasporto.
- Dalla profondità di 10 m a fondo sondaggio presenza di calcari gialli da caotici a stratificati probabili Ooliti di San Vigilio. Dalle registrazioni delle indagini sismiche attive (MASW) e passive (H/V) è possibile dedurre un substrato immergente verso NordEst con una inclinazione di circa 25°, questo dato concorda con le giaciture dei calcari OSV in affioramento sui rilievi immediatamente a Est dell'area di studio.

Il modello geologico di riferimento del sito può quindi essere così schematizzato (Tabella 2) :

Profondità [m]	Tessitura dei sedimenti riscontrati	Stato addensamento
0,00 – 1,60	Terreno di riporto	N.d.
1,60 – 2,60	Sabbia fine con ghiaia. Litologia calcarea.	Mediamente addensato
2,60 – 4,00	Ghiaia e ciottoli con sabbia. Litologia prevalentemente calcarea, con ciottoli pluri-centimetrici (d_{max} 10 cm) da sub-angolosi ad arrotondati.	Sciolto/poco addensato
4,00 – 5,40	Sabbia da media a fine con ghiaia. Litologia prevalentemente calcarea, dimensioni massime centimetriche, grani da sub-angolosi ad arrotondati.	Mediamente addensato
5,40 – 9,00	Sabbia da media a fine con ghiaia. Litologia prevalentemente calcarea, dimensioni massime centimetriche, grani da sub-angolosi ad arrotondati.	Sciolto/poco addensato
9,00 – 9,80	Ghiaia con sabbia. Litologia prevalentemente calcarea, con elementi da sub-angolosi ad arrotondati.	N.d.
9,80 – 10,00	Limo sabbioso con ghiaia.	N.d.
10,00 – 13,00	Calcari gialli da caotici a stratificati, probabili 'Ooliti di San Vigilio [OSV]'.	Roccia

Tabella 2: Modello Geologico di Riferimento

5.1.1 Affidabilità Modello Geologico di Riferimento

Riferendosi al documento redatto dalla Commissione Standard Relazione Geologica del Consiglio Nazionale dei Geologi, nell'ambito del *Progetto Qualità 2010: standard metodologici e di lavoro*, sulla base della quantità e della qualità delle informazioni reperite, delle indagini effettuate e delle conclusioni riferite, il modello geologico di riferimento elaborato, nonostante possano sussistere delle incertezze locali intrinseche alla condizione e struttura del sottosuolo, può essere definito **buono**.

5.2 Modello Sismico di Riferimento

Dalla entrata in vigore delle NTC 2008 e con l'aggiornamento 2018 la determinazione delle azioni sismiche deve essere determinata localmente facendo riferimento ai valori di accelerazione sismica di base con riferimento alla griglia con lato di circa 10 Km che copre tutto il territorio nazionale. Le azioni sismiche di progetto si valutano, quindi, sulla base della pericolosità sismica di base definita come accelerazione massima orizzontale a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie orizzontale.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto è stato fatto riferimento all'indagine geofisica effettuata in sito, in base alla quale il sottosuolo di fondazione che compete al sito è assimilato alla **categoria E** come definita dalla NTC 2018. La velocità delle onde di taglio (S) registrata durante le indagini geofisiche ha

permesso di identificare orizzonti sismicamente omogenei, sismostrati e di calcolare la velocità media pesata secondo la relazione

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

delle onde sismiche di taglio nei primi trenta metri di terreno (V_{s30}). La velocità delle onde di taglio orizzontali aumenta progressivamente con la profondità. Dal calcolo risulta una V_{s30} media fra le due verticali di indagine H/V, coerente con i dati della indagine MASW di circa 670 m/s e una V_{seq} di 328 m/s. La presenza del substrato ad una profondità inferiore ai 30 m giustifica la associazione del profilo sismico del sottosuolo alla categoria E, definita: *terreni di sottosuolo di tipo C o D per spessori non superiori a 30 m posti su substrato di riferimento caratterizzato da velocità $V_s > 800$ m/s*. Infatti il forte contrasto di impedenza (nel caso specifico si passa da circa 428 m/s velocità massima dei sismostrati superficiali a circa 1588 m/s per il substrato) ad una profondità relativamente bassa costituisce un elemento peggiorativo in termini di risposta sismica agli effetti locali, dovuti alla trasformazione della forma dell'onda e al trasferimento di energia tra lo strato molto veloce e lo strato superficiale. Da questo elemento si giustifica localmente il disaccordo con la caratterizzazione, su più ampia scala, riportata nella Carta di Classificazione Sismica dei Suoli di Fondazione riportata in Figura 6 Paragrafo 2.2.3.

Il sito è ubicato in zona pianeggiante, per cui, in relazione agli effetti di amplificazione sismica, viene attribuita la categoria topografica T1, come definito nella tabella 3.2 III delle NTC: *superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$* . Alla categoria topografica T1 viene associato un valore del coefficiente di amplificazione topografica S_t , dedotto dalla Tabella 3.2 V, pari a 1,0.

Sul sito è previsto la costruzione di un edificio di Classe d'uso ***Cu = III*** e Vita Nominale ***Vn = 50 anni***.

Dalla posizione del sito, dalla destinazione d'uso e vita nominale, si ottengono i parametri, i coefficienti sismici specifici e gli spettri di risposta elastica mediante l'uso del software Geostru disponibile in rete (v. Figura 9,10 e 11 seguenti).

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	10732	45,858960	10,981230	4270,7
Sito 2	10733	45,860410	11,052840	2214,5
Sito 3	10511	45,910390	11,050790	4298,0
Sito 4	10510	45,908930	10,979150	5636,7

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

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	0,043	2,521	0,243
Danno (SLD)	63	75	0,057	2,496	0,258
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,149	2,472	0,283
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1462	0,195	2,448	0,287

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,600	2,020	1,000	0,014	0,007	0,674	0,200
SLD	1,600	1,980	1,000	0,018	0,009	0,887	0,200
SLV	1,600	1,910	1,000	0,057	0,029	2,334	0,240
SLC	1,480	1,890	1,000	0,069	0,035	2,828	0,240

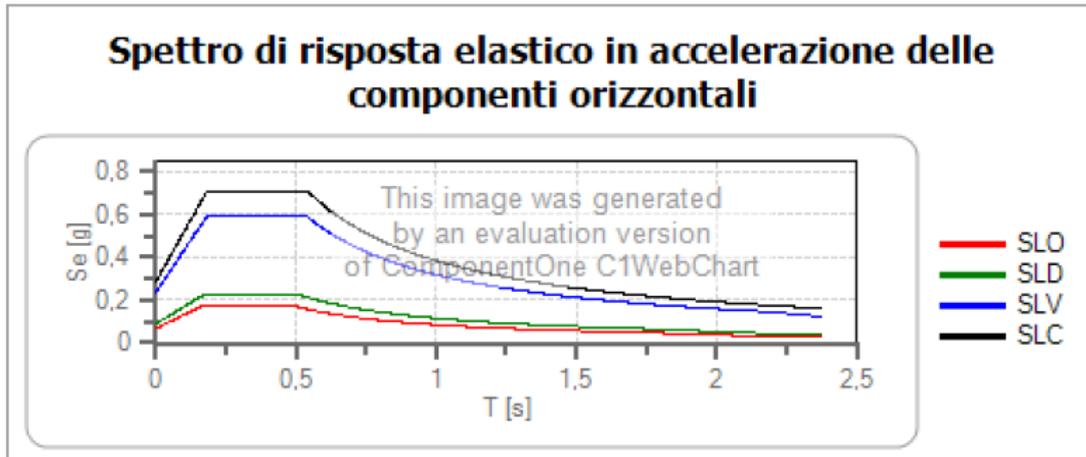
Figura 9 – Output Geostru

Spettri di risposta

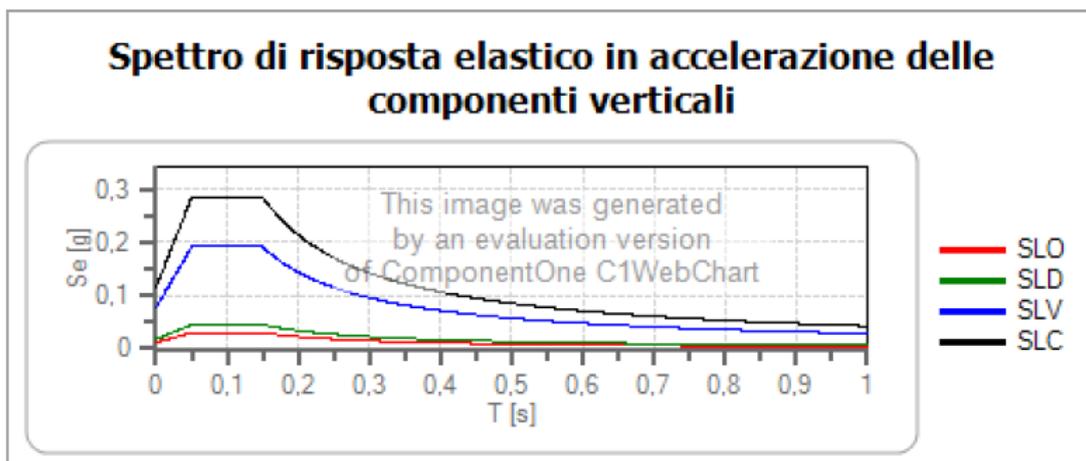
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1,5	0,043	2,521	0,243	1,600	2,020	1,000	1,600	1,000	0,164	0,491	1,772
SLD	1,5	0,057	2,496	0,258	1,600	1,980	1,000	1,600	1,000	0,170	0,511	1,826
SLV	1,5	0,149	2,472	0,283	1,600	1,910	1,000	1,600	1,000	0,180	0,541	2,195
SLC	1,5	0,195	2,448	0,287	1,480	1,890	1,000	1,480	1,000	0,181	0,543	2,379



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1,5	0,043	2,521	0,243	1,000	2,020	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1,5	0,057	2,496	0,258	1,000	1,980	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1,5	0,149	2,472	0,283	1,000	1,910	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1,5	0,195	2,448	0,287	1,000	1,890	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettro di progetto

Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 1.5

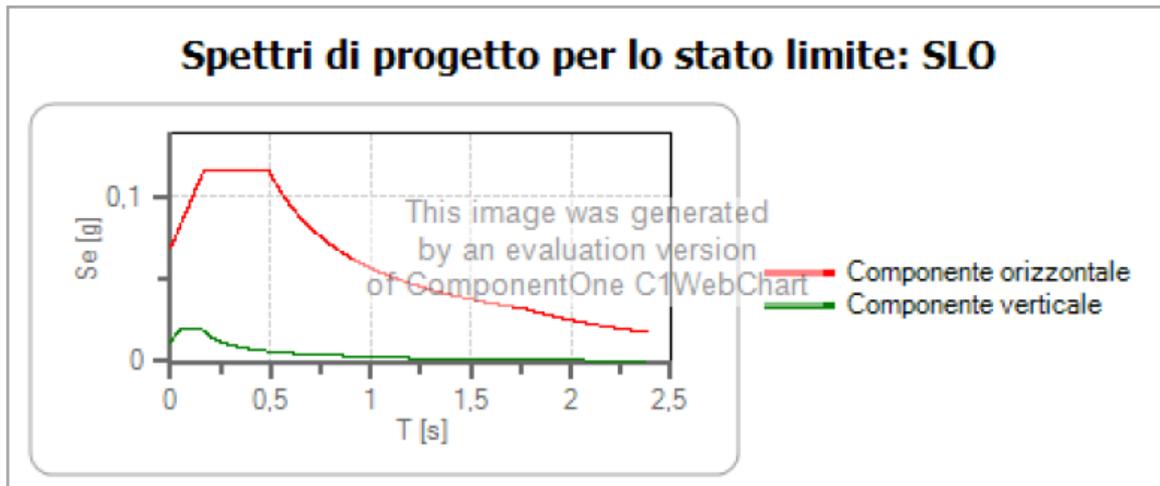
Figura 10 – Spettro di risposta elastico in accelerazione

per lo spettro orizzontale = 0,667

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.5

per lo spettro verticale = 0,667

Stato limite: SLO



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO orizzontale	1,5	0,043	2,521	0,243	1,600	2,020	1,000	1,600	1,500	0,164	0,491	1,772
SLO verticale	1,5	0,043	2,521	0,243	1,600	2,020	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000

Figura 11 – Spettri di progetto per lo stato limite

6 Conclusioni

Su incarico della C.L.A.I.P.A. S.p.A, è stata redatta la presente relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del Punto Vendita carburanti sito in Via Abetone 53 nel territorio comunale di Rovereto (TN) oggetto di una riqualificazione, nell'ambito del Piano di Lottizzazione 06a, ambito B.

Di seguito si riassumono gli esiti dell'indagine effettuata:

- ✓ Il sito è inquadrato in un contesto pianeggiante – subpianeggiante e non presenta criticità di carattere morfologico;
- ✓ Dalla cartografia degli strumenti urbanistici e dalla Carta di Sintesi della Pericolosità non emergono elementi di pericolosità considerevoli o in contrasto con il progetto;
- ✓ La Carta delle Risorse Idriche non inserisce l'area e l'intorno in nessuna zona di tutela o rispetto di opere di approvvigionamento, pozzi e sorgenti;
- ✓ Dal punto di vista tecnico il sottosuolo è caratterizzato da uno spessore medio locale di circa 10 m di sedimenti prevalentemente granulari e grossolani adagiati su un substrato carbonatico che immerge a NordEst di 25° circa.
- ✓ Non sono state registrate inversioni di velocità significative ma la presenza del substrato veloce ad una profondità ridotta (circa 10 m) inducono nell'interpretazione ad associare il sottosuolo di fondazione alla categoria E, contrariamente a quanto evidenziato nella cartografia a più grande scala dove l'intera area è inquadrata in categoria B.

Gli elementi esaminati in questo documento consentono di formulare un giudizio di compatibilità del modello geologico complessivo e delle opere previste.

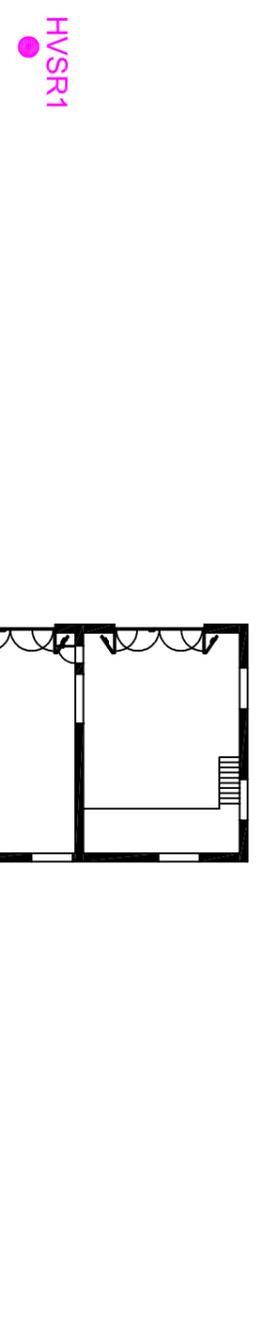
In corso d'opera si dovrà controllare la rispondenza tra il modello geologico di riferimento assunto in progetto e la situazione effettiva, differendo di conseguenza il modello geotecnico e il progetto esecutivo, così come previsto dalla normativa di settore.

TAVOLA

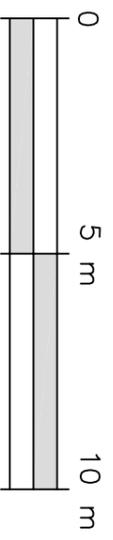
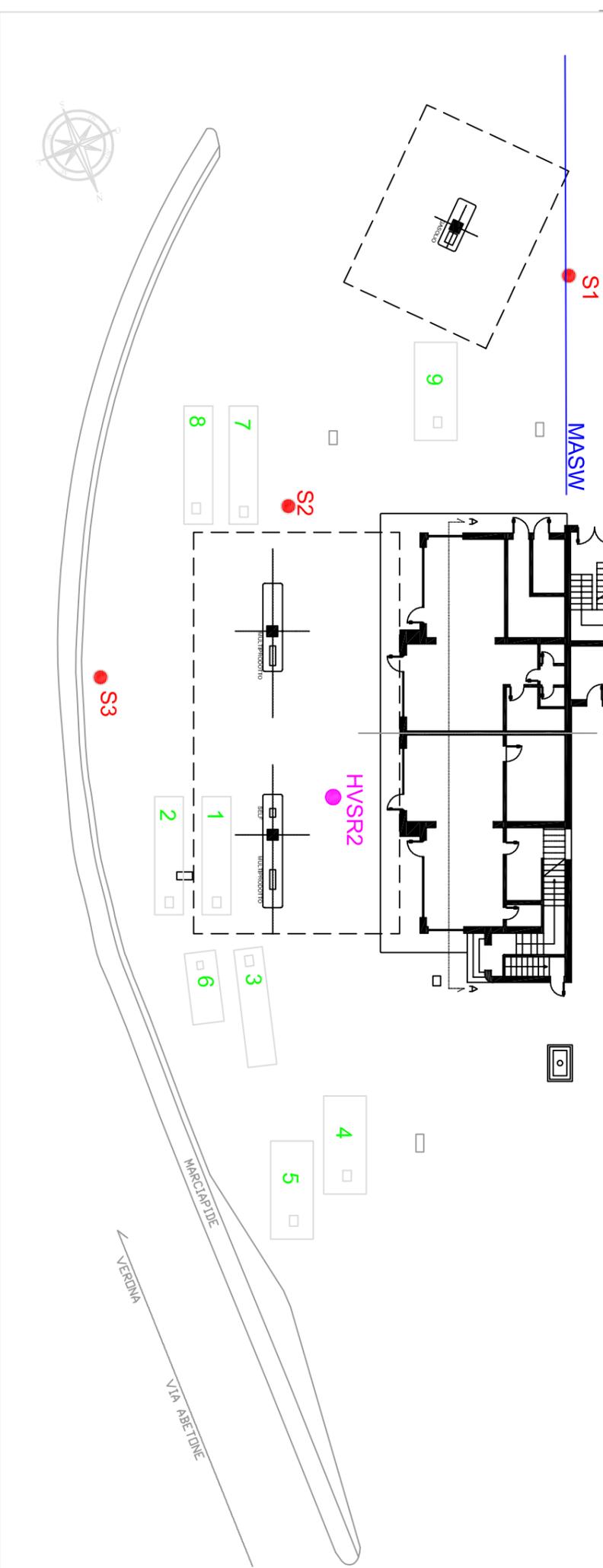
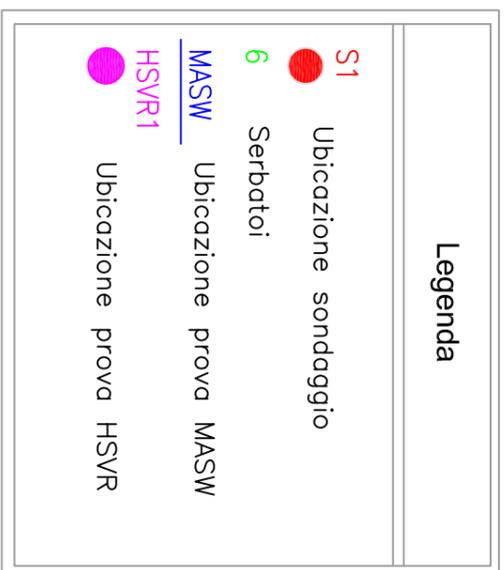


PLANIMETRIA GENERALE

SCALA 1:200



ESECUZIONE PROVE SPT IN S1	
PROFONDITA'	N° COLPI
2 m	1 - 1 - 1
3 m	4 - 13 - 7
4,5 m	4 - 5 - 8
8 m	34 - 28 - 26



COMMITTENTE

C.L.A.I.P.A. S.P.A.

SITO P/V ROVERETO (TN) VIA ABETONE SUD

SITO

PROGETTAZIONE
INTERGEO
 www.intergeo.com
 INTERGEO Italia S.r.l. - Environmental Technologies
 Via Civitali, 75 - 20148 Milano
 www.intergeo.com

DATA	DISEGNATORE	CONTROLLO	TAVOLA
10/07/2018	Elena Bufoni	Domenico Venetiano	1
PROGETTO	DESCRIZIONE		SCALA
Relazione Geologica	PLANIMETRIA AREA E UBICAZIONE PUNTI DI INDAGINE		1:200 (A3)
			Rif. Prog. 0001/18/005

Appendice 1

Documentazione fotografica



Foto 1: Esecuzione sondaggio S2



Foto 2: Esecuzione sondaggio S3



Foto 3: Cassetta catalogatrice S1 (0-5 m)



Foto 4 : Cassetta catalogatrice S1 (5-10 m)



Foto 5 : Cassetta catalogatrice S1 (10 -13 m)



Foto 6: Cassetta catalogatrice S2 (0-5 m)



Foto 7: Cassetta catalogatrice S3 (0-5 m)

Appendice 2

Stratigrafie dei sondaggi

Committente C.L.A.I.P.A. S.p.A.				
Cantiere Rovereto (TN) Via Abetone – SUD				
Sondaggio S 1	Data 12-13/06/2018	Responsabile di sito Dott. Veneziano	Commessa	Scheda 1 di 2
Impresa Gaia Snc	Metodo e diametro di perf. Carotaggio continuo 127 mm	Diametro rivestimenti 152 mm	Percentuale carotaggio 100 %	

Scala 1 : 20	Profondità dal p.c. (m)	Potenza dello strato (m)	Sezione geologica	Descrizione litologica	SPT
					prof. n° colpi
	0,2	0,2		Asfalto	
1,0	1,0	1,4		Sabbia e ghiaia con ciottoli e blocchi (diametro da 10 a 50 cm) da arrotondati a subarrotondati, da sferici a subsferici. Rari elementi di origine antropica di dimensioni centimetriche.	
1,6	1,6	0,2		Livello di limo sabbioso scuro mediamente compatto.	
2,0	1,7	0,2		Sabbia fine con ghiaio.	2,0 m
1,9	1,9	0,7		Sabbia fine con ghiaia di colore marrone scuro asciutta e mediamente addensata.	(1-1-1)
2,6	2,6	1,4		Ghiaia con sabbia. Elementi prevalentemente carbonatici da millimetrici a centimetrici (max 10 cm) da subangolari ad arrotondati, sferici. Livello sciolto.	3,0 m
3,0	3,0	1,4			(4-13-7)
4,0	4,0	1,4		Sabbia e sabbia fine ghiaiosa. Ghiaia con elementi da millimetrici a centimetrici, prevalentemente carbonatici da subangolari a arrotondati, da subsferici a sferici. Livello mediamente addensato.	4,5 m
5,0	5,0	1,4			(4-5-8)
5,4	5,4	3,6		Sabbia e ghiaia da fine a grossa con elementi carbonatici da angolari a subarrotondati, arrotondati, da sferici a subsferici, raramente tubolari. Livello sciolto poco addensato.	
6,0	6,0	3,6			
7,0	7,0	3,6			
8,0	8,0	3,6			8,0 m
9,0	9,0	3,6			(34-28-26)
9,8	9,8	0,8		Ghiaia con sabbia con elementi da subangolari ad arrotondati, da sferici a subsferici.	
10,0	9,8	0,2		Limo sabbioso con ghiaia.	

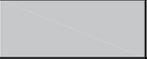
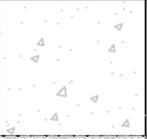
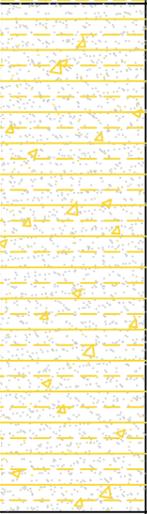
Committente C.L.A.I.P.A. S.p.A.				
Cantiere Rovereto (TN) Via Abetone – SUD				
Sondaggio S 1	Data 12-13/06/2018	Responsabile di sito Dott. Veneziano	Commessa	Scheda 2 di 2
Impresa Gaia Snc	Metodo e diametro di perf. Carotaggio continuo 127 mm	Diametro rivestimenti 152 mm	Percentuale carotaggio 100 %	

Scala 1 : 20	Profondità dal p.c. (m)	Potenza dello strato (m)	Sezione geologica	Descrizione litologica	SPT
					prof. n° colpi
11,0		3,0		Calcari gialli da caotici a stratificati.	
12,0					
13,0	13,0				
14,0					
15,0					
16,0					
17,0					
18,0					
19,0					
20,0					

Committente C.L.A.I.P.A. S.p.A.				
Cantiere Rovereto (TN) Via Abetone – SUD				
Sondaggio S 2	Data 14-15/06/2018	Responsabile di sito Dott. Veneziano	Commessa	Scheda 1 di 1
Impresa Gaia Snc	Metodo e diametro di perf. Carotaggio continuo 127 mm	Diametro rivestimenti 152 mm	Percentuale carotaggio 100 %	

Scala 1 : 20	Profondità dal p.c. (m)	Potenza dello strato (m)	Sezione geologica	Descrizione litologica	SPT
					prof. n° colpi
	0,2	0,2		Asfalto	
	0,4	0,2		Sabbia e ghiaia con laterizi.	
1,0		1,1		Sabbia e ghiaia con elementi arrotondati subsferici (diametro da 1 a 15 cm) con intercalazioni di livelli di limo con sabbia di colore marrone scuro.	
	1,5			Livello di limo sabbioso da marrone scuro a rosso porpora.	
	1,6			Livello di sabbia con ghiaia.	
	1,7			Livello di limo/torba di colore nero.	
2,0	1,8			Limo sabbioso di colore nero.	
	2,2	0,4		Sabbia limosa di colore ocra.	
	2,6			Sabbia di colore ocra.	
3,0		0,9		Sabbia di colore ocra.	
	3,5			Sabbia con ghiaia grossa di colore ocra con flamme nere.	
4,0	3,8	0,3		Sabbia da media a fine di colore ocra.	
	5,0	1,2		Sabbia da media a fine di colore ocra.	
6,0					
7,0					
8,0					
9,0					
10,0					

Committente C.L.A.I.P.A. S.p.A.				
Cantiere Rovereto (TN) Via Abetone – SUD				
Sondaggio S 3	Data 14-15/06/2018	Responsabile di sito Dott. Veneziano	Commessa	Scheda 1 di 1
Impresa Gaia Snc	Metodo e diametro di perf. Carotaggio continuo 127 mm	Diametro rivestimenti 152 mm	Percentuale carotaggio 100 %	

Scala 1 : 20	Profondità dal p.c. (m)	Potenza dello strato (m)	Sezione geologica	Descrizione litologica	SPT
					prof. n° colpi
	0,3	0,3		Asfalto.	
	0,7	0,7		Sabbia e ghiaia con laterizi.	
	1,0	0,8		Sabbia fine con limo.	
	1,8	0,6		Limo sabbioso di colore ocra debolmente ghiaioso con ciottoli centimetrici subarrotondati e sferici.	
	2,4	2,6		Sabbia con livelli limosi e ghiaiosi (diametro compreso tra i 2 mm e 1 cm) da angolari a subarrotondati calcarei di colore ocra.	
	3,0				
	4,0				
	5,0				
	6,0				
	7,0				
	8,0				
	9,0				
	10,0				

Appendice 3

Report Indagine Geofisica

RELAZIONE SULLE ATTIVITA' DI PROSPEZIONE SISMICA SVOLTE PRESSO L'EX PUNTO VENDITA ENI SITO IN VIA ABETONE 53, C.C. ROVERETO (TN)

Committente

INTERGEO Italia S.r.l.

Via Matteo Civitali, 75

20148 Milano

+39 02 40095252

Redatto

Dr. Federico Osti

Verificato

Dr. Geol. Marco Gardini

Approvato

Dr. Geol. Dario Zulberti

Contenuto

RELAZIONE GEOFISICA

N. Commessa

713TN2018G

Rev. n.	Data	Descrizione
00	Giugno 2018	Emissione

Firme



ORDINE DEI GEOLOGI
GEOLOGENKAMMER
TRENTINO - ALTO ADIGE / SUDTIROL
DOIT. GEOL.
N. 214 DARIO ZULBERTI

Indice generale

1	INTRODUZIONE	5
2	INDAGINI PREGRESSE CONDOTTE IN SITO	7
3	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	9
4	PROSPEZIONE SISMICA TRAMITE METODO MASW	10
4.1	Cenni teorici sul metodo MASW	10
4.2	Fase di acquisizione dati	12
4.3	Fase di elaborazione dati.....	13
4.4	Analisi dei risultati ottenuti	20
5	PROSPEZIONE SISMICA TRAMITE METODO HVSR	21
5.1	Cenni teorici sul metodo HVSR	21
5.2	Fase di acquisizione dati	23
5.3	HVSR 1: Fase di elaborazione dati.....	24
5.4	HVSR 2: Fase di elaborazione dati.....	29
5.5	Analisi dei risultati ottenuti	34
6	CONCLUSIONI.....	35

Elenco delle figure

Figura 1. Estratto Ortofotografico dell'area (scala grafica).....	5
Figura 2. Ubicazione sondaggio S1.....	7
Figura 3. Rappresentazione schematica dell'onda di Rayleigh.....	10
Figura 4. Ubicazione e caratteristiche dello stendimento.....	12
Figura 5. Rappresentazione delle tracce utilizzate nell'elaborazione.....	13
Figura 6. Rappresentazione della curva di dispersione (velocità di fase – frequenza).....	14
Figura 7. Rappresentazione dello spettro velocità di fase - frequenza.....	16
Figura 8. Rappresentazione 3D dello spettro velocità di fase - frequenza.....	16
Figura 9. Rappresentazione della funzione disadattamento' (1000 iterazioni).....	17
Figura 10. Rappresentazione di tutti modelli elaborati dal programma (1000 iterazioni).....	18
Figura 11. Rappresentazione della curva di best-fit calcolata dal programma.....	18
Figura 12. Ubicazione e caratteristiche dell'acquisizione dei dati di sismica passiva.....	23
Figura 13. Rappresentazione delle tracce registrate dallo strumento in sito.....	24
Figura 14. Rappresentazione delle finestre temporali selezionate per l'elaborazione.....	25
Figura 15. Rappresentazione degli spettri medi nelle tre direzioni.....	26
Figura 16. Rappresentazione 3D della stazionarietà delle registrazioni.....	26
Figura 17. Rappresentazione dello spettro H/V.....	28
Figura 18. Rappresentazione delle tracce registrate dallo strumento in sito.....	29
Figura 19. Rappresentazione delle finestre temporali selezionate per l'elaborazione.....	30
Figura 20. Rappresentazione degli spettri medi nelle tre direzioni.....	31
Figura 21. Rappresentazione 3D della stazionarietà delle registrazioni.....	31
Figura 22. Rappresentazione dello spettro H/V.....	33

Elenco delle tabelle

Tabella 1. Stratigrafia riscontrata nel Sondaggio 1.....	8
Tabella 2. Parametri utilizzati per l'analisi spettrale.....	14
Tabella 3. Modello stratigrafico preliminare del terreno.....	15
Tabella 4. Parametri della soluzione finale in uscita dal modello.....	19
Tabella 5. Caratteristiche geotecniche dei sismo-strati individuati.....	19
Tabella 6. Parametri di analisi delle finestre temporali.....	25
Tabella 7. Controllo di qualità dei dati tramite i criteri SESAME.....	27
Tabella 8. Parametri utilizzati per l'analisi spettrale.....	27
Tabella 9. Parametri in uscita dal modello con metodo HVSR.....	28
Tabella 10. Parametri di analisi delle finestre temporali.....	30
Tabella 11. Controllo di qualità dei dati tramite i criteri SESAME.....	32
Tabella 12. Parametri utilizzati per l'analisi spettrale.....	32
Tabella 13. Parametri in uscita dal modello con metodo HVSR.....	34

1 INTRODUZIONE

Su incarico e per conto di INTERGEO Italia S.r.l., è stata redatta la presente “RELAZIONE SULLE ATTIVITA’ DI PROSPEZIONE SISMICA SVOLTE PRESSO L’EX PUNTO VENDITA ENI SITO IN VIA ABETONE 53, C.C. ROVERETO (TN)”.

Il presente studio si è avvalso di un sopralluogo effettuato in sito, di specifiche indagini di prospezione geofisica nonché della conoscenza bibliografica e professionale maturata dagli scriventi nell’ambito geologico dell’area di interesse.

Le indagini condotte in sito hanno avuto lo scopo di andare a caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni di interesse. Tale aspetto risulta fondamentale ai fini di una corretta progettazione poiché permette, congiuntamente ad altre indagini di tipo geotecnico, di individuare eventuali criticità connesse con l’assetto geologico-stratigrafico locale.

L’estratto ortofotografico proposto di seguito riporta l’ubicazione dell’area oggetto di indagine.

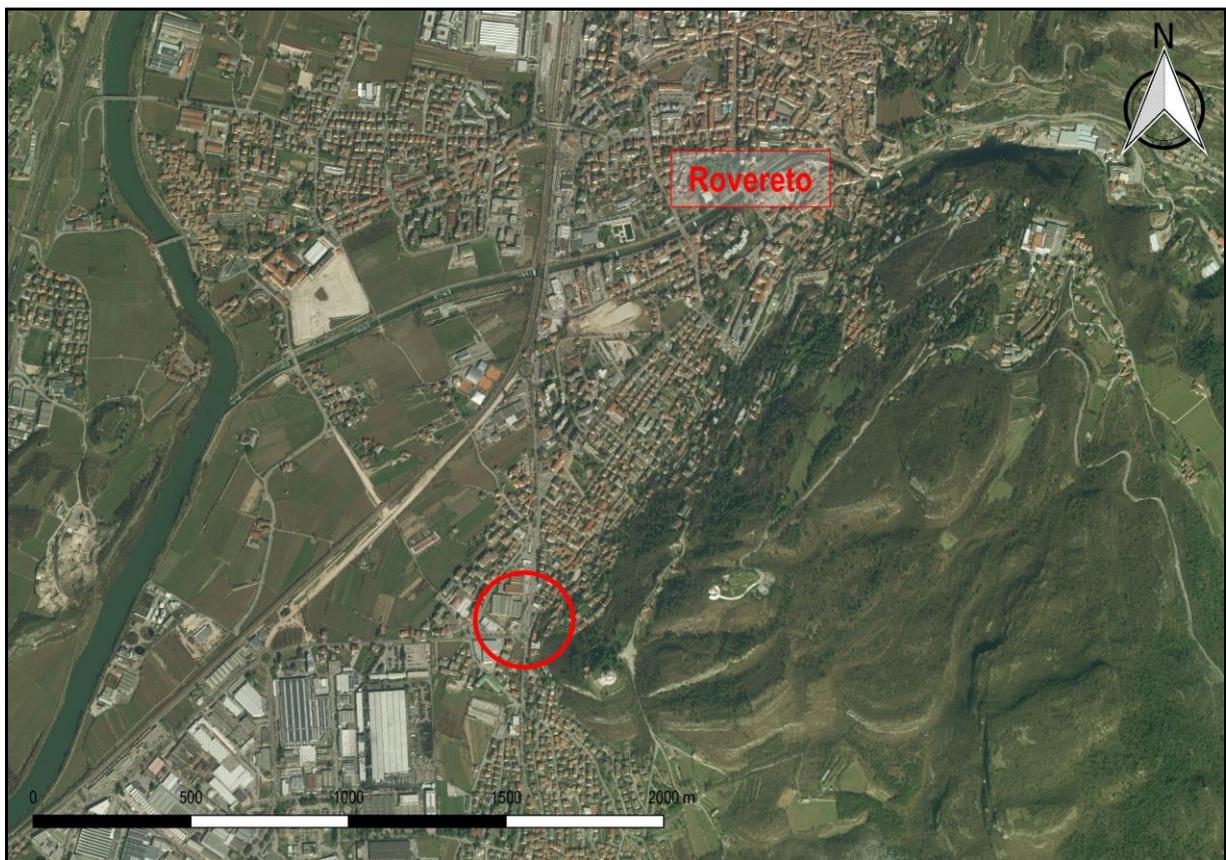


Figura 1. Estratto Ortofotografico dell'area (scala grafica).

Nello specifico le indagini geofisiche condotte in sito sono state finalizzate alla determinazione del profilo verticale della velocità delle onde sismiche longitudinali e trasversali (V_p e V_s), del parametro V_{s30} (o $V_{s,eq}$) ed infine della frequenza di risonanza del terreno.

A tale scopo le prove, eseguite nel giugno 2018, sono state costituite da:

- Esecuzione di N. 1 stendimento geofonico per l'esecuzione di indagine sismica attiva, tramite prova tipo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).
- Esecuzione di N. 2 punti di acquisizione per l'esecuzione di indagini sismiche passive, tramite prove tipo HVSR (*Horizontal over Vertical Signal Ratio*).

Nei seguenti capitoli verranno brevemente riassunte le caratteristiche dell'attrezzatura per l'acquisizione dei dati in sito, i concetti teorici fondamentali alla base delle suddette indagini, le fasi di elaborazione dei dati ed infine i risultati ottenuti.

2 INDAGINI PREGRESSE CONDOTTE IN SITO

Con lo scopo di avere un quadro maggiormente chiaro dell'assetto litostratigrafico della zona di studio, ai fini dell'elaborazione dei dati sismici acquisiti in campagna, è stata presa a riferimento la stratigrafia riscontrata durante l'esecuzione di un sondaggio ubicato nell'area di interesse, realizzato nel giugno 2018.

Nella fattispecie è stata consultata la stratigrafia relativa ad un sondaggio eseguito a carotaggio continuo, denominato 'Sondaggio 1', ubicato come da figura seguente.



Figura 2. Ubicazione sondaggio S1.

Si precisa che tale sondaggio è stato appositamente effettuato in corrispondenza del punto centrale dello stendimento geofonico realizzato durante l'indagine tramite metodologia MASW, così da poter utilizzare la stratigrafia riscontrata per tarare il modello di calcolo.

Nella seguente tabella viene riportata la stratigrafia riscontrata nel suddetto sondaggio:

SONDAGGIO 1		
Profondità [m]	Tessitura dei sedimenti riscontrati	Stato addensamento
0,00 – 1,90	Prescavo.	N.d.
1,90 – 2,60	Sabbia fine con ghiaia. Litologia calcarea.	Mediamente addensato
2,60 – 4,00	Ghiaia e ciottoli con sabbia. Litologia prevalentemente calcarea, con ciottoli pluri-centimetrici (d_{max} 10 cm) da sub-angolosi ad arrotondati.	Sciolto/poco addensato
4,00 – 5,40	Sabbia da media a fine con ghiaia. Litologia prevalentemente calcarea, dimensioni massime centimetriche, grani da sub-angolosi ad arrotondati.	Mediamente addensato
5,40 – 9,00	Sabbia da media a fine con ghiaia. Litologia prevalentemente calcarea, dimensioni massime centimetriche, grani da sub-angolosi ad arrotondati.	Sciolto/poco addensato
9,00 – 9,80	Ghiaia con sabbia. Litologia prevalentemente calcarea, con elementi da sub-angolosi ad arrotondati.	N.d.
9,80 – 10,00	Limo sabbioso con ghiaia.	N.d.
10,00 – 13,00	Calcari gialli da caotici a stratificati, probabili 'Ooliti di San Vigilio [OSV]'.	Roccia

Tabella 1. Stratigrafia riscontrata nel Sondaggio 1.

3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'apparecchiatura utilizzata in fase di acquisizione dei dati di campo è un sismografo 24 bit per prospezione sismica, della casa MAE, modello A6000S. Caratteristica principale di questo sismografo risulta essere la risoluzione di 24 bit effettivi per ogni singolo canale, nonché la possibilità di acquisire dati relativi a tutte le tipologie di prospezione sismica, sia attiva che passiva. Vengono di seguito riportate alcune specifiche tecniche del sismografo sopra descritto.



Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta	Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura
Range dinamico: 144 dB (teorico)	Range massimo segnale in ingresso: +/-5V
Distorsione massima: +/-0.0010%	Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo: 20Mohm
Banda passante: 2Hz-30KHz	Livelli di amplificazione: 0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB impostabili singolarmente per ogni canale o per gruppi di canali liberamente organizzabili
Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz	Filtro anti-alias: -3dB, 80% della frequenza di Nyquist, -80dB
Diafonia: -120dB a 20 Hz	Tempo pre-trigger: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500ms
Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV	Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms; 8.0, 4.0, 2.0 ms in registrazione continua

Con la finalità di realizzare lo stendimento per l'esecuzione dell'indagine di sismica attiva, la centralina per l'acquisizione dati sopra descritta è stata connessa a 24 geofoni polarizzati verticalmente, di frequenza naturale pari a 4,5 Hz.

4 PROSPEZIONE SISMICA TRAMITE METODO MASW

Nei seguenti capitoli vengono descritte le modalità di acquisizione, elaborazione e restituzione dei dati relativi all'indagine di sismica attiva tramite metodologia MASW.

In maniera tale da rendere maggiormente completa la comprensione di tale tipo di indagine viene inoltre presentato un capitolo introduttivo relativo alle peculiarità che la caratterizzano.

4.1 Cenni teorici sul metodo MASW

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s ; in particolare esso è adatto per la determinazione del parametro V_{s30} , come richiesto dalla normativa sismica. Sulla base del profilo delle velocità, ottenuto in fase di elaborazione dei dati, è inoltre possibile ricostruire in linea di massima la stratigrafia del suolo indagato.

Tale tecnica si basa sulla misura delle onde superficiali, il cui segnale viene acquisito in corrispondenza di diversi sensori, quali accelerometri o geofoni, posti sulla superficie del suolo. L'energia sismica generata da una sorgente come può essere l'impatto di una mazza battente al suolo, viene trasmessa per più di $2/3$ nella forma delle onde di Rayleigh, che si configura come la componente principale delle onde superficiali ed è quindi quella presa in considerazione in tale metodologia.

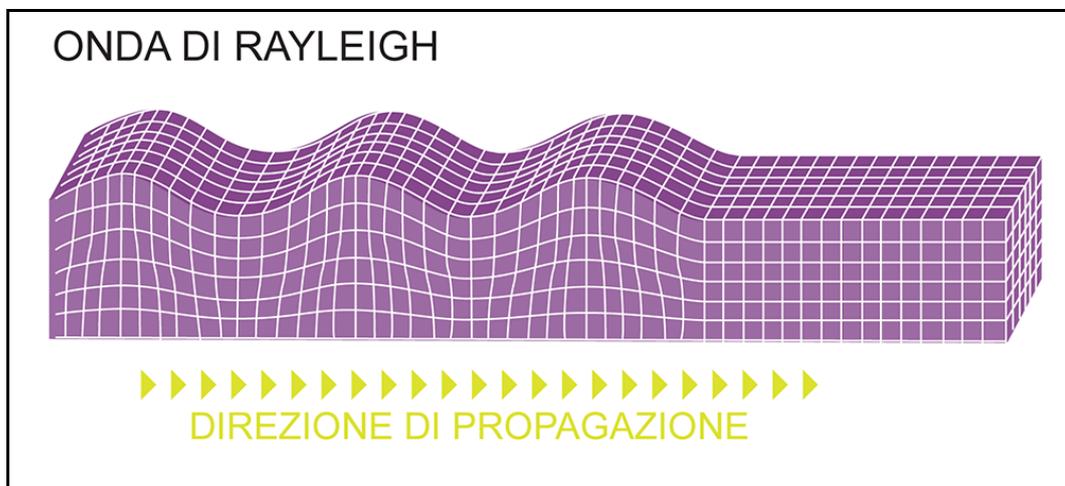


Figura 3. Rappresentazione schematica dell'onda di Rayleigh.

Ipotizzando una variazione verticale della velocità delle onde sismiche nel terreno, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione che a sua volta corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda. Tale comportamento è dovuto al fatto che le onde di Rayleigh sono multimodali, ovvero la funzione velocità di fase-frequenza non è monodroma.

La profondità raggiunta dalla perturbazione dipende inoltre dalla lunghezza d'onda; nel caso di un mezzo eterogeneo le onde superficiali non hanno appunto una singola velocità, ma diverse velocità di fase in corrispondenza delle diverse frequenze; la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione, che è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e può essere utilizzata attraverso un processo di inversione per la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (sismica a riflessione o rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. Le onde di Rayleigh infatti, durante la loro propagazione, vengono registrate lungo lo stendimento e successivamente analizzate da appositi programmi di calcolo.

In linea generale la metodologia per la realizzazione di un'indagine sismica tipo MASW prevede i seguenti *step*:

- 1) Acquisizione dei segnali sismici in sito;
- 2) Calcolo della trasformata doppia di Fourier (nel dominio f-k), la quale permette di ottenere i vari massimi spettrali, ognuno corrispondente ad un modo di propagazione;
- 3) Determinazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda ed inversione della curva di dispersione per l'ottenimento del profilo verticale delle Vs.

È bene sottolineare che per ottenere un profilo delle Vs bisogna produrre delle onde superficiali a banda larga e registrarle minimizzando il rumore di fondo presente in sito. È inoltre necessario avere una minima conoscenza dell'assetto lito-stratigrafico locale e dei relativi valori approssimati del coefficiente di Poisson e della densità dei materiali. Tali dati sono solitamente derivanti da misure dirette o da indagini pregresse.

Sulla base del profilo delle velocità delle onde di taglio ricavato nei primi 30 metri di profondità, viene quindi determinata una velocità media equivalente Vs30 rappresentativa del sito in esame, utilizzando la seguente formula:

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

hi: spessore in metri

Vi: velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo

Va precisato in tal senso che le NTC 2018 hanno introdotto la Vs,eq, ovvero un parametro rappresentativo della velocità delle onde di taglio (la cui formulazione analitica è simile a quella per le Vs30), utile a caratterizzare dal punto di vista sismico quei siti dove il substrato roccioso viene a trovarsi a profondità minore di 30 m dal p.c., incidendo in tal modo significativamente sul calcolo della Vs30 (specialmente in presenza di forti contrasti di velocità tra copertura detritica e bedrock).

4.2 Fase di acquisizione dati

La fase di acquisizione dei dati avviene a seguito della realizzazione dello stendimento geofonico. Viene di seguito riportato uno schema esemplificativo dell'ubicazione e delle caratteristiche dell'acquisizione dei dati in campo.



CARATTERISTICHE STENDIMENTO:

Tipologia di indagine:	Sismica attiva (metodo MASW)
Lunghezza stendimento [m]:	24
Numero di canali acquisiti:	24
Passo intergeofonico [m]:	1,00
Numero di campioni per secondo:	1000
Gain geofoni:	Equivalente



Figura 4. Ubicazione e caratteristiche dello stendimento.

4.3 Fase di elaborazione dati

Nel presente capitolo viene presentata la fase di elaborazione dei dati sismici acquisiti in sito, la quale è avvenuta tramite l'ausilio del software 'Easy MASW' della GEOSTRU. Nello specifico l'elaborazione dei dati viene effettuata attraverso differenti *step* procedurali che vengono descritti di seguito.

Importazione delle tracce all'interno del software:

Il primo passo è stato quello di importare le 24 tracce, relative ai rispettivi geofoni, all'interno del software di analisi. A questo punto si deve impostare la finestra di calcolo, andando ad escludere quelle parti del sismogramma non significative ai fini dell'elaborazione (primi arrivi, eventuale rumore sismico, ecc.).

Si riporta di seguito il sismogramma con evidenziata in azzurro la finestra temporale utile significativa.

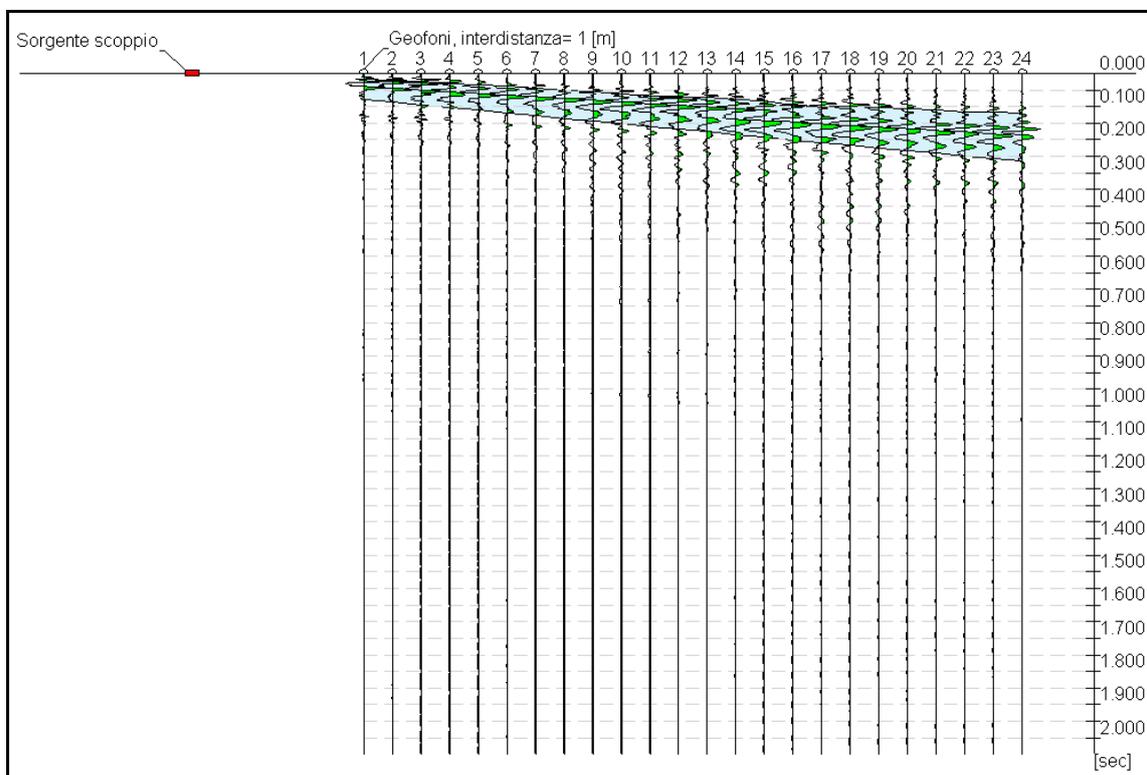


Figura 5. Rappresentazione delle tracce utilizzate nell'elaborazione.

Analisi spettrale:

Il secondo *step* consiste nell'analisi spettrale, la quale viene effettuata sulla curva di dispersione (rappresentata in Figura 6). Questa assume un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di *Rayleigh* ai fini della caratterizzazione dei terreni, infatti, è direttamente connessa alle caratteristiche di rigidità del mezzo e può essere quindi utilizzata tramite il processo di inversione per la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

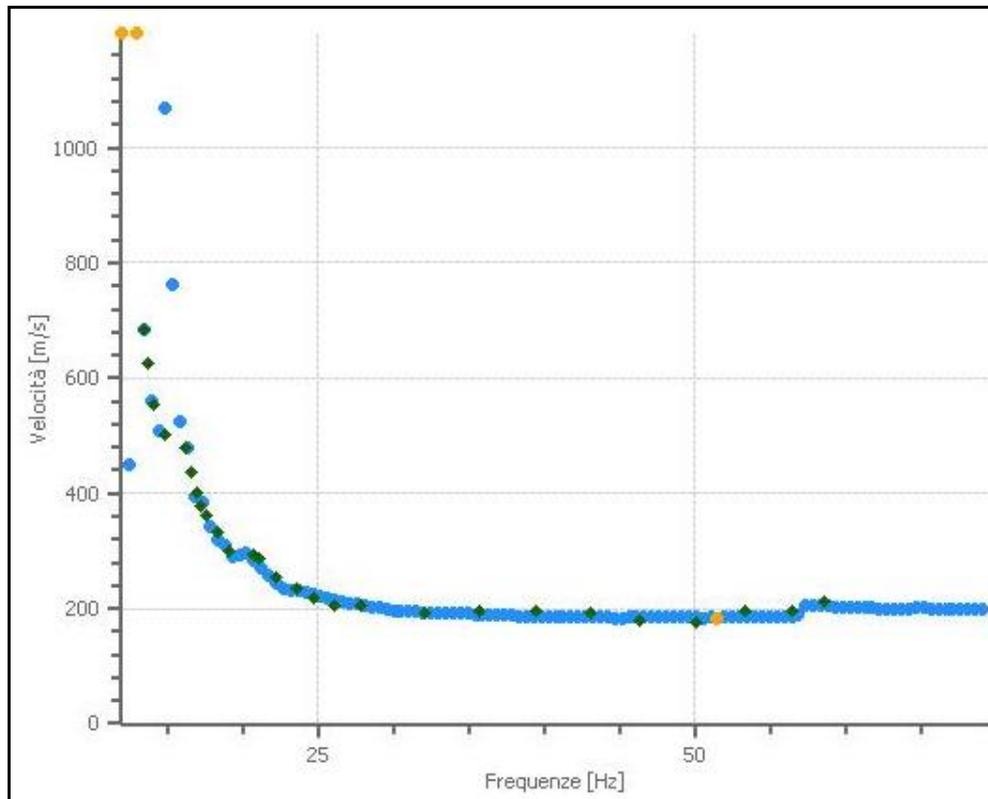


Figura 6. Rappresentazione della curva di dispersione (velocità di fase – frequenza).

L'analisi spettrale effettuata all'interno del *software* è stata impostata con i seguenti parametri:

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	Frequenza massima di elaborazione [Hz]	Velocità minima di elaborazione [m/s]	Velocità massima di elaborazione [m/s]	Intervallo di velocità [m/s]
12	70	1	1200	1

Tabella 2. Parametri utilizzati per l'analisi spettrale.

Va specificato a tal proposito che le linee colorate rappresentate in Figura 7, sono rappresentative dei differenti modi di propagazione dell'onda di *Rayleigh* in un determinato mezzo stratificato (modello sintetico); va da sé che, a seconda delle caratteristiche fisico-meccaniche di un mezzo stratificato, l'andamento di tali linee sarà differente.

Durante il processo di analisi spettrale è quindi essenziale andare a definire un modello stratigrafico sintetico preliminare, i cui relativi modi fondamentali di propagazione delle onde di Rayleigh si adattino il meglio possibile con quelli individuati dalla curva di dispersione sperimentale.

In questo caso è stato utilizzato come riferimento di massima la stratigrafia relativa al sondaggio di cui al Capitolo 2, le cui caratteristiche computazionali vengono riportate nella seguente tabella.

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	2,60	2,60	1900,0	0,3	No	374,17	200,00
2	4,00	1,40	1900,0	0,3	No	411,58	220,00
3	10,00	6,00	1900,0	0,4	No	979,80	400,00
4	>10,00	20,00	2100,0	0,4	No	2939,39	1200,00

Tabella 3. Modello stratigrafico preliminare del terreno.

Sulla base della curva di dispersione e dell'impostazione del modello sintetico è stato quindi effettuato il cosiddetto '*picking*', ovvero il processo attraverso il quale si va ad individuare il modo fondamentale di propagazione delle onde di Rayleigh (ed eventualmente quelli superiori).

L'esito di tale operazione è rappresentato dai punti verdi individuati sullo spettro velocità di fase-frequenza riportato in Figura 7.

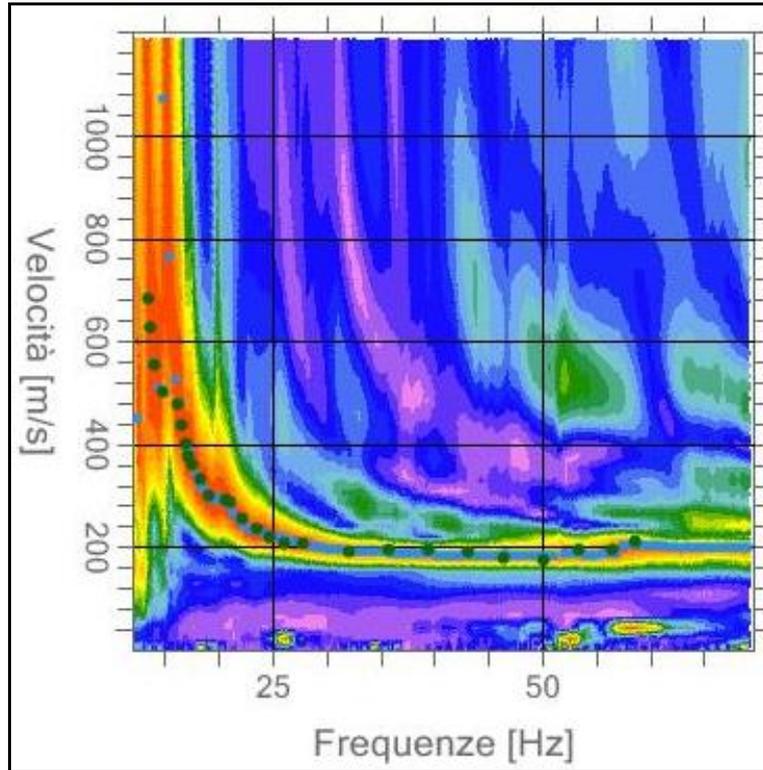


Figura 7. Rappresentazione dello spettro velocità di fase - frequenza.

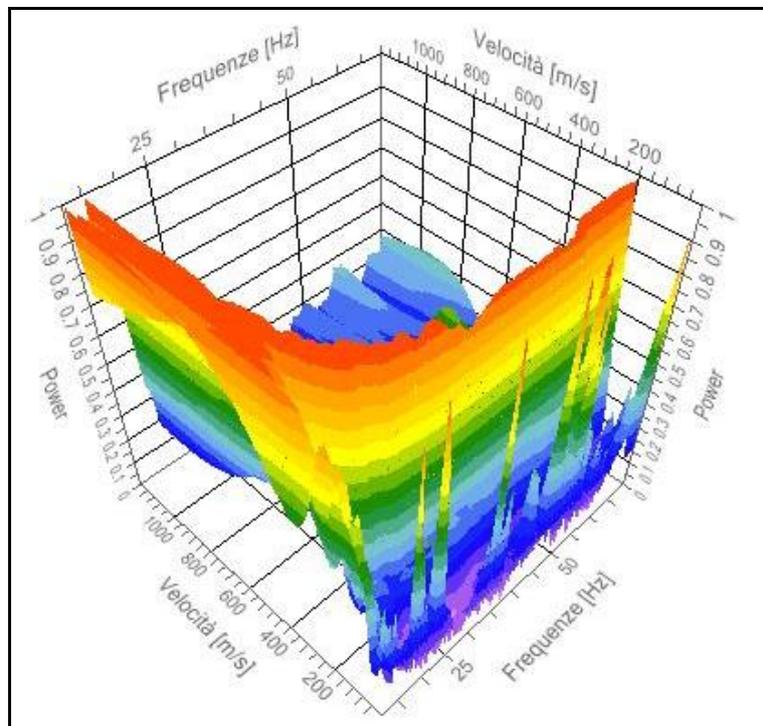


Figura 8. Rappresentazione 3D dello spettro velocità di fase - frequenza.

Inversione dei dati e determinazione del profilo delle velocità:

Come anticipato, il terzo passo è rappresentato dall'inversione della curva di dispersione; affinché tale processo sia efficace e rappresentativo della situazione reale è necessario impostare un modello preliminare del terreno, basato su dati relativi ad indagini geognostiche integrative o pregresse. In questo caso, come per la fase di analisi spettrale, è stato utilizzato come riferimento la stratigrafia relativa al sondaggio di cui al Capitolo 2.

In fase di inversione, si selezionano quindi il numero di iterazioni di calcolo (1000 nel caso in oggetto), ognuna delle quali fornisce una possibile soluzione del profilo delle velocità.

La potenza del processo iterativo risiede nel permettere al *software* di affinare progressivamente il risultato del calcolo, iterazione dopo iterazione, fino al raggiungimento di un modello delle velocità avente il minor disadattamento possibile dalla soluzione reale (curva di *best-fit*).

Va rimarcato in tal senso che un ruolo fondamentale in questo processo è rivestito dal modello stratigrafico iniziale (riportato in Tabella 3), in quanto punto di partenza del ciclo iterativo stesso, va da sé che un modello stratigrafico di partenza completamente erroneo porterà a soluzioni altrettanto distanti dalla realtà.

In Figura 9 viene mostrato l'andamento della 'funzione disadattamento', nella quale si noti come il fattore tenda a zero mano a mano che procede il ciclo di calcolo, per un totale di 1000 iterazioni.

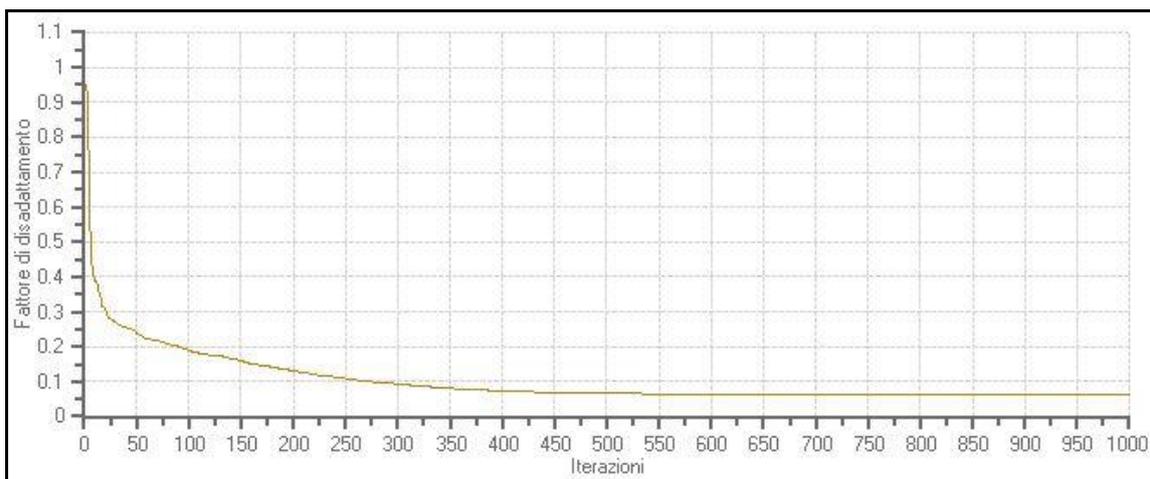


Figura 9. Rappresentazione della funzione disadattamento' (1000 iterazioni).

Nelle successive Figure invece (10 e 11) vengono rispettivamente riportate le rappresentazioni di tutte le curve relative alle 1000 iterazioni effettuate e quella che presenta il minor fattore di disadattamento (curva di *best-fit*).

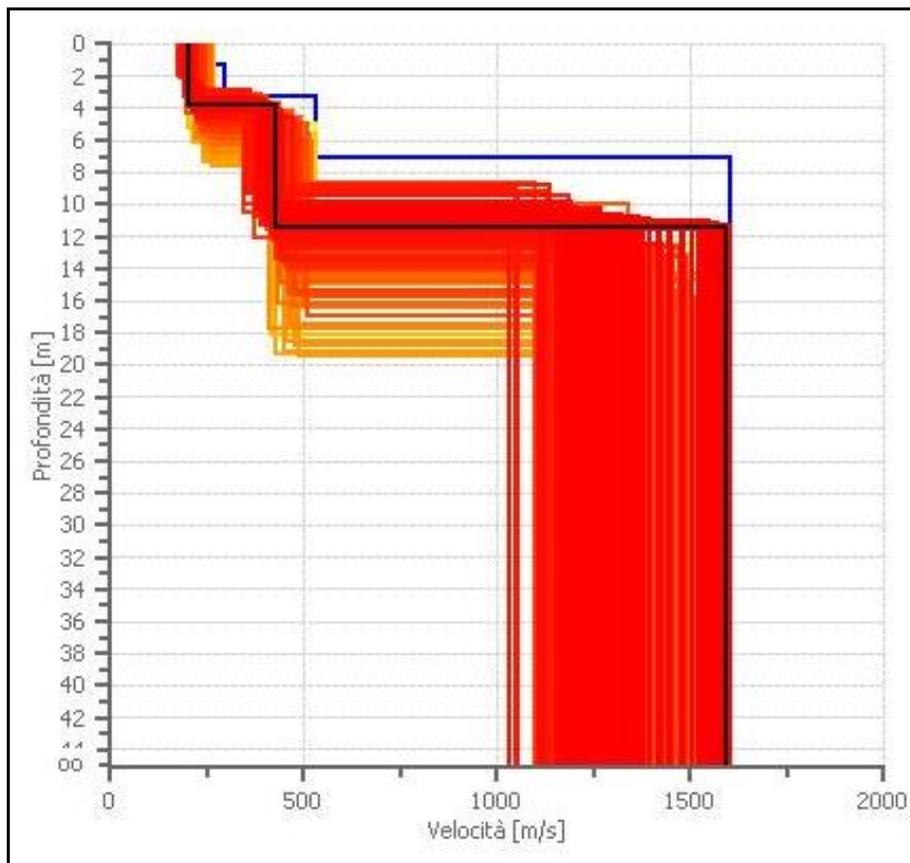


Figura 10. Rappresentazione di tutti modelli elaborati dal programma (1000 iterazioni).

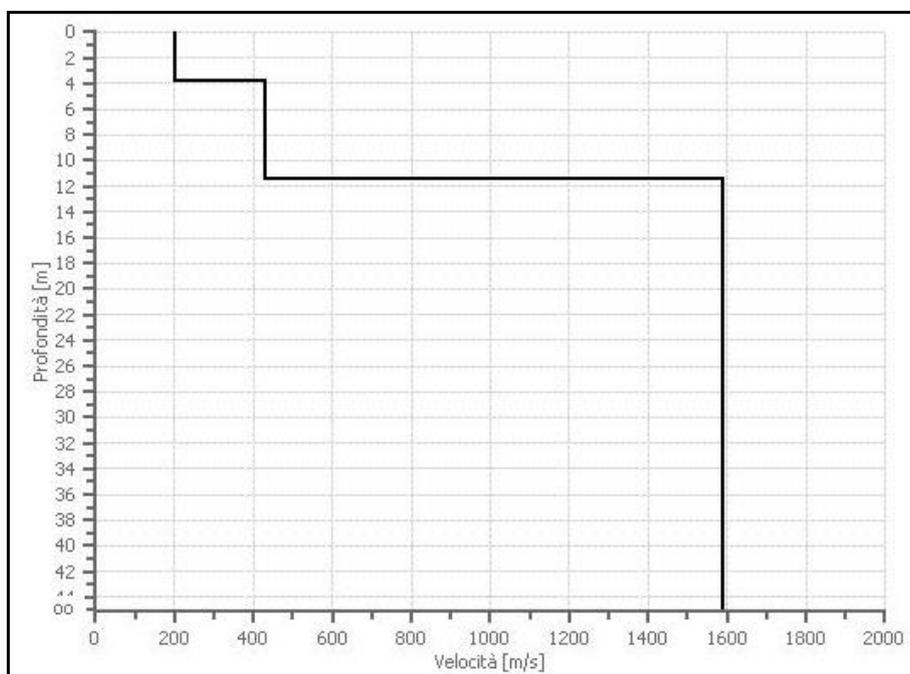


Figura 11. Rappresentazione della curva di best-fit calcolata dal programma.

Nella seguente tabella viene invece riportata la percentuale di errore a cui è arrivato il ciclo di iterazione, nonché il fattore di disadattamento della curva di *best-fit*.

Percentuale di errore:	0,719 %
Fattore di disadattamento della soluzione:	0,059

Tabella 4. Parametri della soluzione finale in uscita dal modello.

In conclusione viene di seguito riportata la stima di ulteriori parametri geotecnici relativi ai differenti sismo-strati, individuati a seguito del processo di inversione.

Strato	Profondità [m]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	Vp [m/s]	Vs [m/s]
1	1,84	1900,00	0,30	77,7	272,1	168,4	202,1	378,4	202,3
2	3,82	1900,00	0,30	77,3	270,5	167,4	200,9	377,3	201,6
3	11,48	1900,00	0,40	347,9	2087,2	1623,3	974,0	1048,1	427,8
4	> 11,48	2100,00	0,40	5298,0	31788,0	24724,0	14834,4	3890,6	1588,3

G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young;

Tabella 5. Caratteristiche geotecniche dei sismo-strati individuati.

Determinazione categoria di sottosuolo:

Una volta completata l'analisi dei dati sperimentali e ottenuto il profilo delle velocità, si è proceduto all'ultimo *step*, attraverso il quale si va a determinare il valore delle Vs30 o delle Vs,eq, come previsto dalle NTC2018.

In particolare, considerando la posa di un'ipotetica fondazione a 1,00 m dal p.c. si avrà un valore di Vs30 pari a 679,25 m/s ed una Vs,eq pari a 328,80 m/s (H= 10,48 m).

In prima analisi il sottosuolo indagato, evidenzia un range di velocità appartenente al 'Tipo C', ovvero, secondo quanto definito dalle NTC 2018:

"Suolo di tipo 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".

Tuttavia, posto che il substrato roccioso è stato rilevato a profondità minori di 30 m dal p.c., il sedime oggetto dei lavori non rientrerà più nel 'Tipo C', bensì nel '**Tipo E**', ovvero:

"Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore ai 30 m".

4.4 Analisi dei risultati ottenuti

Quanto emerso dall'indagine sismica, condotta tramite l'utilizzo della metodologia MASW, in relazione ai dati lito-stratigrafici disponibili, è un quadro sismo-stratigrafico nel quale il profilo delle Vs risulta crescente verso il basso.

Tale risultato è riconducibile a fattori di duplice natura, da un lato la tessitura dei sedimenti caratterizzanti il sottosuolo, dall'altro lo stato di compattazione ed addensamento di questi.

In particolare è possibile notare (Figura 11) come i primi 4 m circa della copertura sedimentaria siano caratterizzati da Vs contenute, dell'ordine di 200 m/s, le quali aumentano di circa il doppio (ca. 400 m/s) in un secondo sismo-strato, il quale si estende fino ad una profondità di circa 11 m dal p.c..

Comparando l'esito dell'elaborazione dei dati sismici con il sondaggio geognostico eseguito in sito, l'andamento del profilo delle velocità in questi primi metri è dovuto fondamentalmente a due sismo-strati dalle caratteristiche sedimentologiche simili, ma presumibilmente caratterizzati da grado di addensamento differente.

A partire dagli 11 m circa di profondità assistiamo invece ad un incremento repentino delle Vs, le quali aumentano di quasi quattro volte la loro velocità (fino a circa 1588 m/s); tale sismo-strato è identificativo, in maniera evidente, di un cambio netto sia in termini di caratteristiche granulometriche che di addensamento dei materiali.

Le velocità rilevate fanno supporre di essere in presenza del substrato roccioso, data la presenza, a circa 100 metri in direzione Sud-Est rispetto all'area di interesse, di formazioni litoidi calcaree che si immergono verso Nord-Ovest con angoli di circa 30°. Questa ipotesi viene peraltro avvalorata dal sondaggio geognostico eseguito in sito, durante il quale, ad una profondità di 10 m dal p.c., è stato intercettato un livello litificato.

5 PROSPEZIONE SISMICA TRAMITE METODO HVSR

Nei seguenti capitoli vengono descritte le modalità di acquisizione, elaborazione e restituzione dei dati relativi all'indagine di sismica passiva tramite metodologia HVSR.

In maniera tale da rendere maggiormente completa la comprensione di tale tipo di indagine viene inoltre presentato un capitolo introduttivo relativo alle peculiarità che la caratterizzano.

5.1 Cenni teorici sul metodo HVSR

Il metodo HVSR è una tecnica non invasiva e relativamente rapida che non necessita di alcun tipo di perforazione, stendimenti, cavi o energizzazione esterna. Di fatto tale metodologia di indagine prevede l'acquisizione del solo rumore sismico di fondo.

Il primo lavoro su questa specifica tipologia di indagine fu pubblicato nel 1971 ma fu con Nakamura, nel 1989, ad essere perfezionato e diffuso maggiormente, di qui la comune denominazione dell'HVSR come "metodo di Nakamura".

Nella fattispecie l'esecuzione di questa prova prevede l'utilizzo di un'unica stazione di misura, posta sulla superficie del terreno e costituita da tre geofoni in grado di acquisire le vibrazioni ambientali nelle tre direzioni ortogonali dello spazio (Nord-Sud, Est-Ovest ed oscillazione verticale).

In tale maniera viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto, così da poter ricavare, a seguito di un'opportuna elaborazione le seguenti informazioni:

- Frequenza caratteristica di risonanza del sito;
- Frequenza fondamentale di risonanza di un edificio;
- Velocità media delle onde di taglio V_s ;
- Stratigrafia del sottosuolo.

L'acquisizione dei dati avviene appunto per mezzo di apposito strumento chiamato tromometro, composto da tre velocimetri elettrodinamici ad alta definizione, ortogonali tra loro, con intervallo di frequenza compreso tra 0,1 e 256 Hz.

La metodologia per la realizzazione di un'indagine sismica HVSR prevede i seguenti *step*:

- Il rumore sismico viene registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20-30), attraverso un sismometro a frequenza propria inferiore al campo di frequenze di interesse (in genere inferiore ad 1 Hz posto che le frequenze proprie dei manufatti sono dell'ordine di 1 Hz o poco superiori);
- La registrazione viene suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno e per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale nelle sue tre componenti (calcolo dei rispettivi spettri di Fourier);
- Per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale, l'HVSR appunto, il cui acronimo è "*Horizontal over Vertical Signal Ratio*".

Il valore di frequenza caratteristica del sito può essere ottenuto interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del moto fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza è possibile quindi estrapolare la stratigrafia del sottosuolo.

5.2 Fase di acquisizione dati

Nel sito oggetto d'indagine è stata svolta un'acquisizione di microtremori ambientali mediante un sismometro ad elevata dinamica (24 bits) attrezzato con geofono tridirezionale da 4,5 Hz di frequenza propria. Le acquisizioni sono state eseguite campionando il segnale sismico per una durata di 30 minuti. Viene di seguito riportato uno schema esemplificativo dell'ubicazione e delle caratteristiche dell'acquisizione dei dati in campo.



CARATTERISTICHE ACQUISIZIONE:

Tipologia di indagine:	Sismica passiva (metodo HVSr)
Numero di canali acquisiti:	3
Tempo di acquisizione [min]:	30
Numero di campioni per secondo:	250
Gain geofoni:	Equivalentente



Figura 12. Ubicazione e caratteristiche dell'acquisizione dei dati di sismica passiva.

5.3 HVSR 1: Fase di elaborazione dati

La prova, comunemente nota con il termine H/V o HVSR (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali H e verticale V) prevede la valutazione dal grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontale e verticale nel quale viene evidenziata la frequenza (o più frequenze se si è in presenza di un profilo stratigrafico multistrato con contrasti di impedenza significativi) attraverso un "picco" della curva (in genere dovuto ad un minimo della componente verticale, riscontrabile negli spettri delle singole componenti).

La frequenza fondamentale del sito è da intendersi quella più significativa a bassa frequenza. Eventuali altre frequenze evidenziate (picchi secondari), se vicine alle frequenze di interesse ingegneristico, possono risultare comunque significative.

Importazione delle tracce all'interno del software:

Dopo l'importazione dei dati è possibile visualizzare i grafici secondo le direzioni di acquisizione, Nord-Sud, Est-Ovest e oscillazione Verticale.

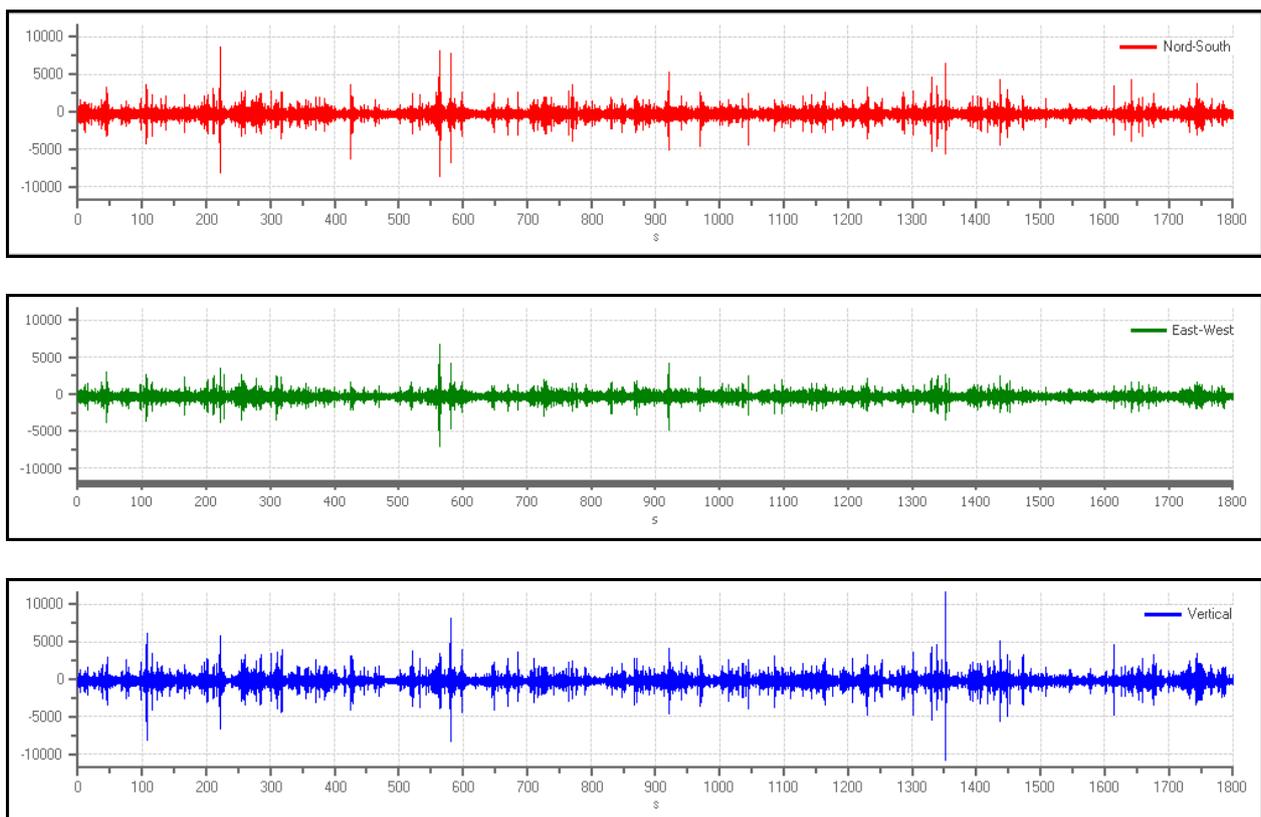


Figura 13. Rappresentazione delle tracce registrate dallo strumento in sito.

Analisi delle finestre temporali:

Tale fase consiste nell'individuazione delle finestre temporali utili ai fini del calcolo; in questo senso bisogna selezionare quegli intervalli di acquisizione che presentano una saturazione del segnale in ingresso ed escluderli di conseguenza dalle elaborazioni successive. Nelle seguenti figure vengono riportate le tracce a seguito di tale operazione.

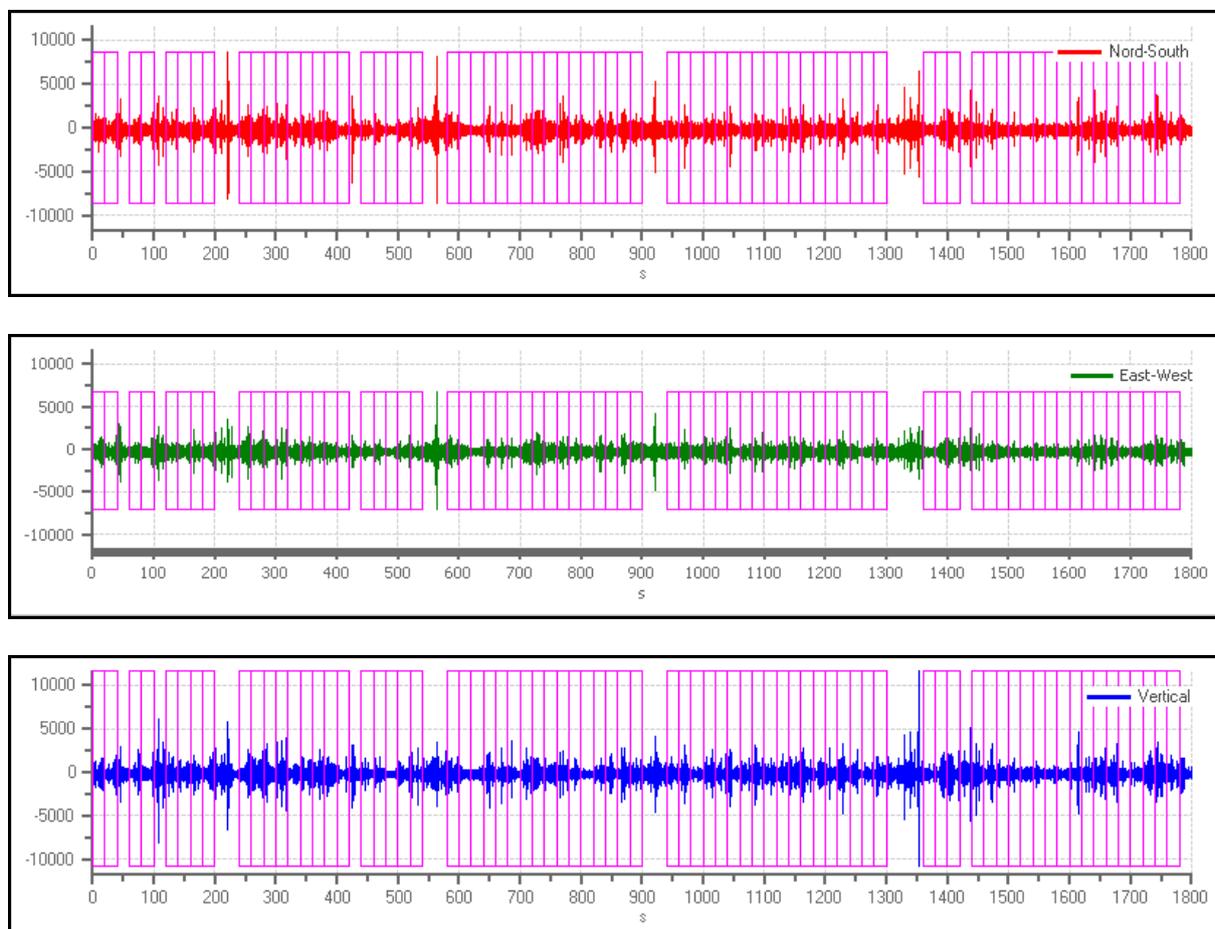


Figura 14. Rappresentazione delle finestre temporali selezionate per l'elaborazione.

Numero di finestre temporali selezionate:	76
Dimensione della finestra temporale [sec]:	20

Tabella 6. Parametri di analisi delle finestre temporali.

Una volta ultimata la fase di selezione delle finestre temporali di interesse è possibile calcolare i seguenti *output*.

- 1) Spettro medio tra le varie finestre temporali individuate per ciascuna direzione (Figura 15);
- 2) Mappa indicante la stazionarietà delle registrazioni (Figura 16);

3) Mappa della direzionalità delle registrazioni, la quale fornisce l'andamento del rapporto spettrale H/V al cambiare dell'angolo che le direzioni orizzontali delle registrazioni formano con il sistema di riferimento.

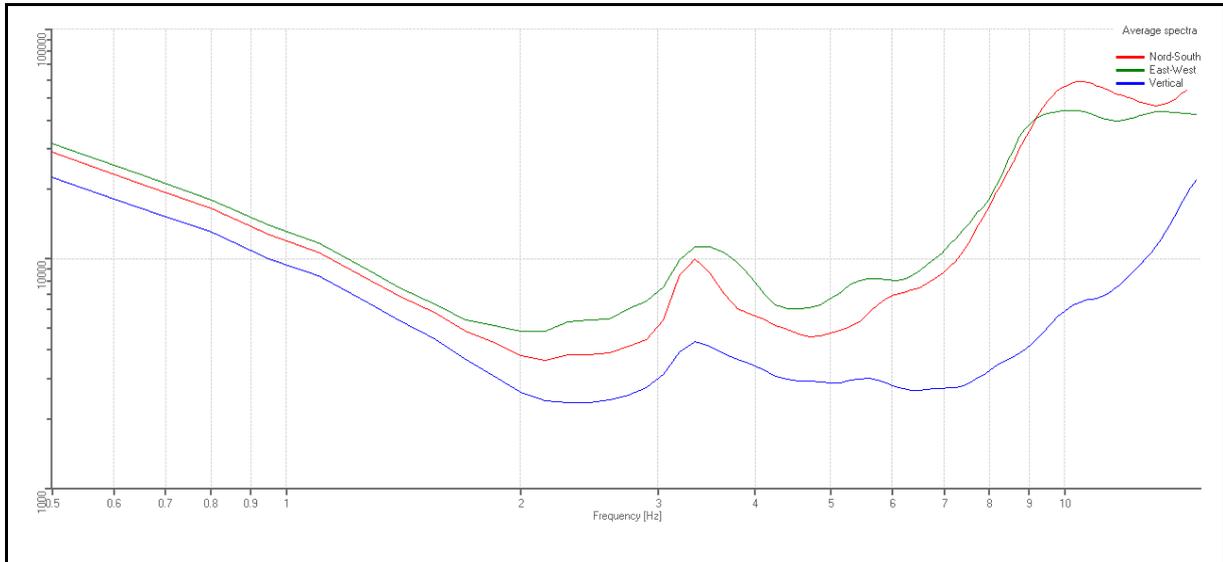


Figura 15. Rappresentazione degli spettri medi nelle tre direzioni.

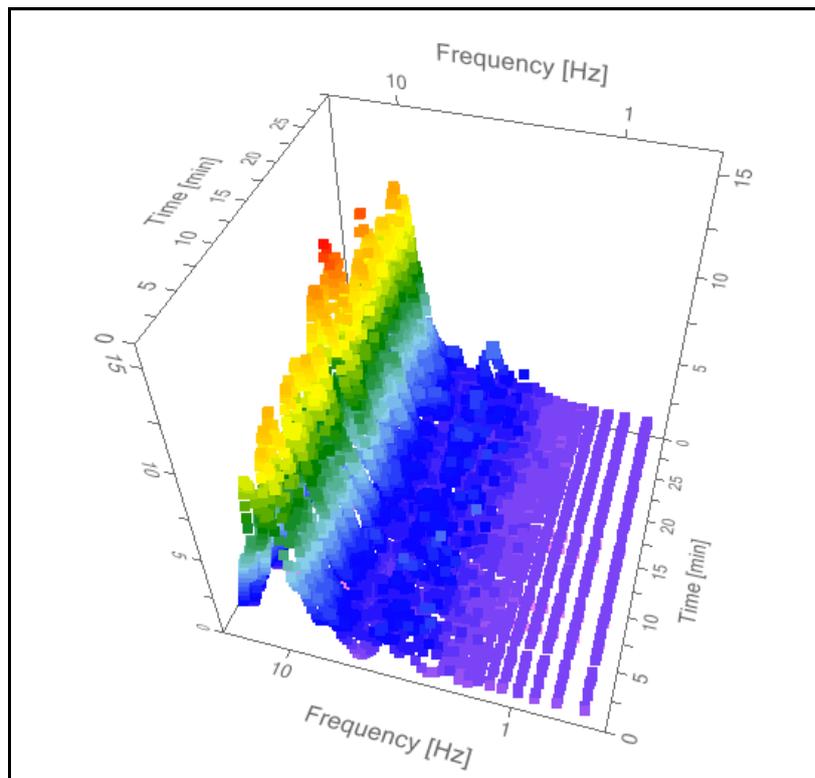


Figura 16. Rappresentazione 3D della stazionarietà delle registrazioni.

Analisi spettrale e calcolo dello spettro H/V:

Una volta completata la selezione delle finestre temporali da analizzare, si passa alla fase successiva, costituita dall'analisi spettrale e dal calcolo dello spettro H/V.

A tale scopo, ai fini di valutare l'affidabilità statistica dei dati utilizzati, viene eseguito all'interno del software un controllo dei requisiti di qualità proposti dal progetto di ricerca europeo 'SESAME' all'interno del documento "Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations – Measurements, processing and interpretations".

Nella seguente tabella vengono riportati tali requisiti, con l'esito del controllo eseguito in relazione alla corrente:

	Condizione di verifica	Stato della verifica
Affidabilità della curva H/V	$f_0 > 10/l_w$	OK
	$n_c(f_0) > 200$	OK
	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	OK
Affidabilità dei picchi	$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
	$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
	$A_0 > 2$	OK
	$f_{picco} A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$	OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f)$	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

Tabella 7. Controllo di qualità dei dati tramite i criteri SESAME.

Come si evince dagli esiti della verifica riportati in Tabella 7, l'acquisizione dei dati e l'elaborazione finora effettuata su questi risulta compatibile con gli standard imposti dal SESAME ed quindi possibile procedere con l'analisi spettrale ed il calcolo dello spettro H/V.

In particolare l'analisi spettrale effettuata all'interno del software è stata impostata con i seguenti parametri di elaborazione:

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	Frequenza massima di elaborazione [Hz]	Intervallo di frequenza [Hz]
1,0	15,0	0,15

Tabella 8. Parametri utilizzati per l'analisi spettrale.

Lo spettro H/V medio calcolato a seguito dell'analisi spettrale viene rappresentato dalla linea rossa in Figura 17 ed è rappresentativo della media dei coefficienti di Fourier delle finestre temporali scelte per l'elaborazione all'interno dell'acquisizione di 30 min. Le linee blu indicano invece la deviazione standard dal valore medio.

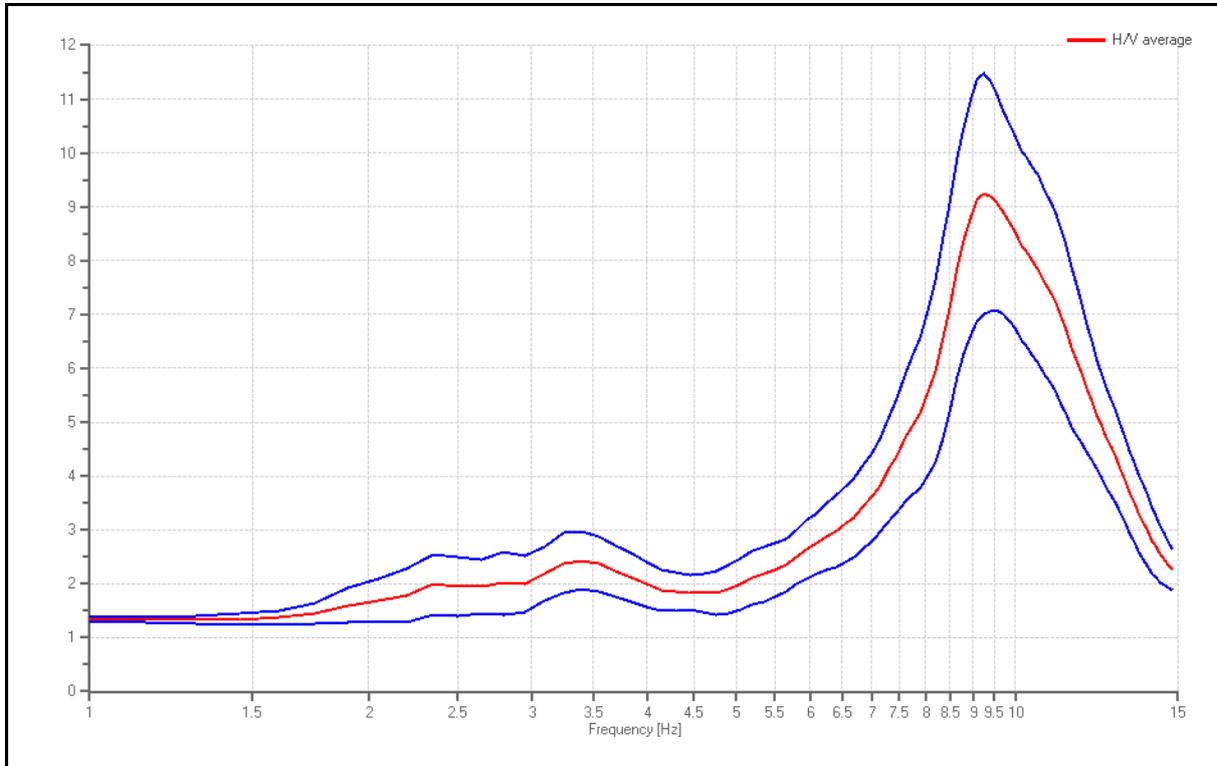


Figura 17. Rappresentazione dello spettro H/V.

Come si evince da Figura 17, la curva H/V mostra un picco particolarmente definito ad una frequenza di 9,25 Hz. A tal proposito si sottolinea che la presenza di un picco così evidente, sta ad indicare la quasi certa presenza di un importante contrasto di impedenza acustica nel sottosuolo indagato, derivante da differenze significative della densità dei sedimenti e delle relative velocità di propagazione delle Vs.

Nella seguente tabella vengono riportati i risultati dell'elaborazione effettuata all'interno del software di analisi:

Frequenza di picco del rapporto H/V [Hz]:	9,25 ± 0,24
Frequenza di picco dell'ellitticità [Hz]:	10,60
Velocità delle Vs30 [m/s]:	765,63

Tabella 9. Parametri in uscita dal modello con metodo HVSR.

5.4 HVSR 2: Fase di elaborazione dati

Vengono di seguito riportate le fasi di elaborazione dei dati relativi alla seconda acquisizione di sismica passiva.

Importazione delle tracce all'interno del software:

Dopo l'importazione dei dati è possibile visualizzare i grafici secondo le direzioni di acquisizione, Nord-Sud, Est-Ovest e oscillazione Verticale.

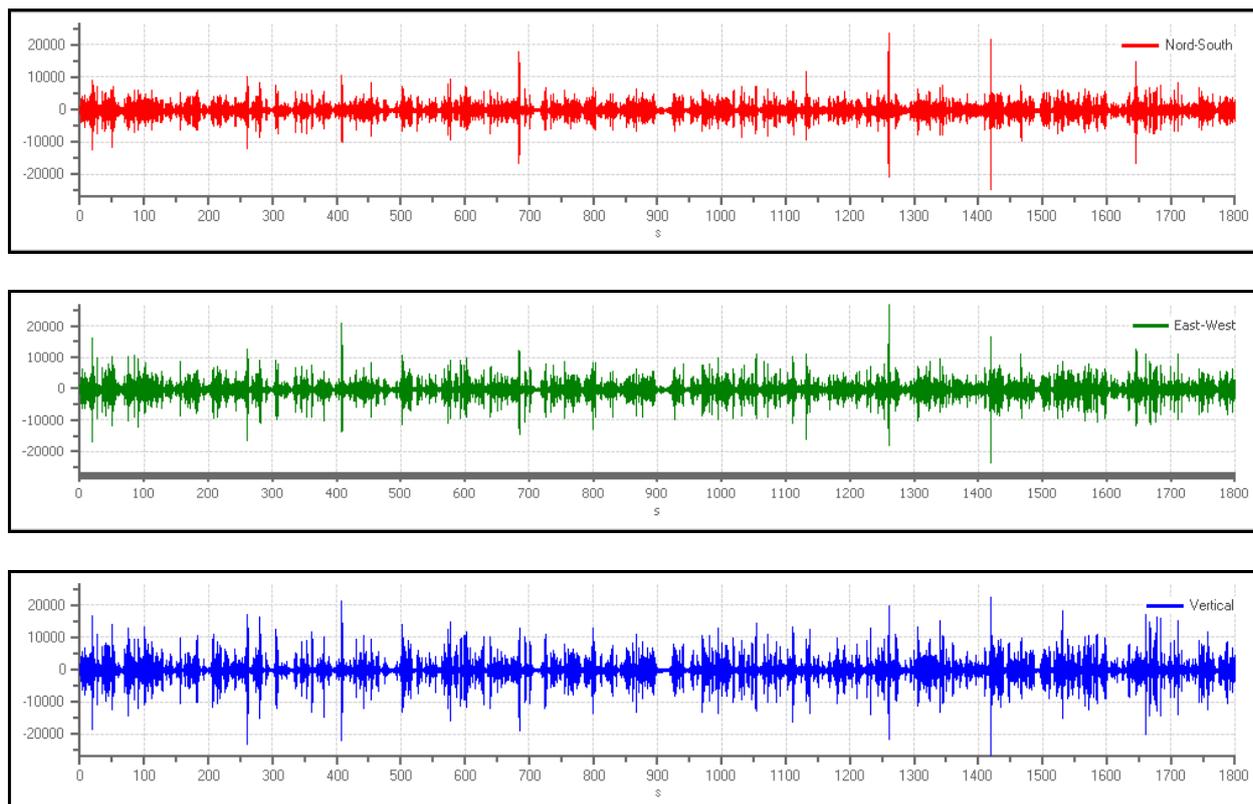


Figura 18. Rappresentazione delle tracce registrate dallo strumento in sito.

Analisi delle finestre temporali:

Tale fase consiste nell'individuazione delle finestre temporali utili ai fini del calcolo; in questo senso bisogna selezionare quegli intervalli di acquisizione che presentano una saturazione del segnale in ingresso ed escluderli di conseguenza dalle elaborazioni successive. Nelle seguenti figure vengono riportate le tracce a seguito di tale operazione.

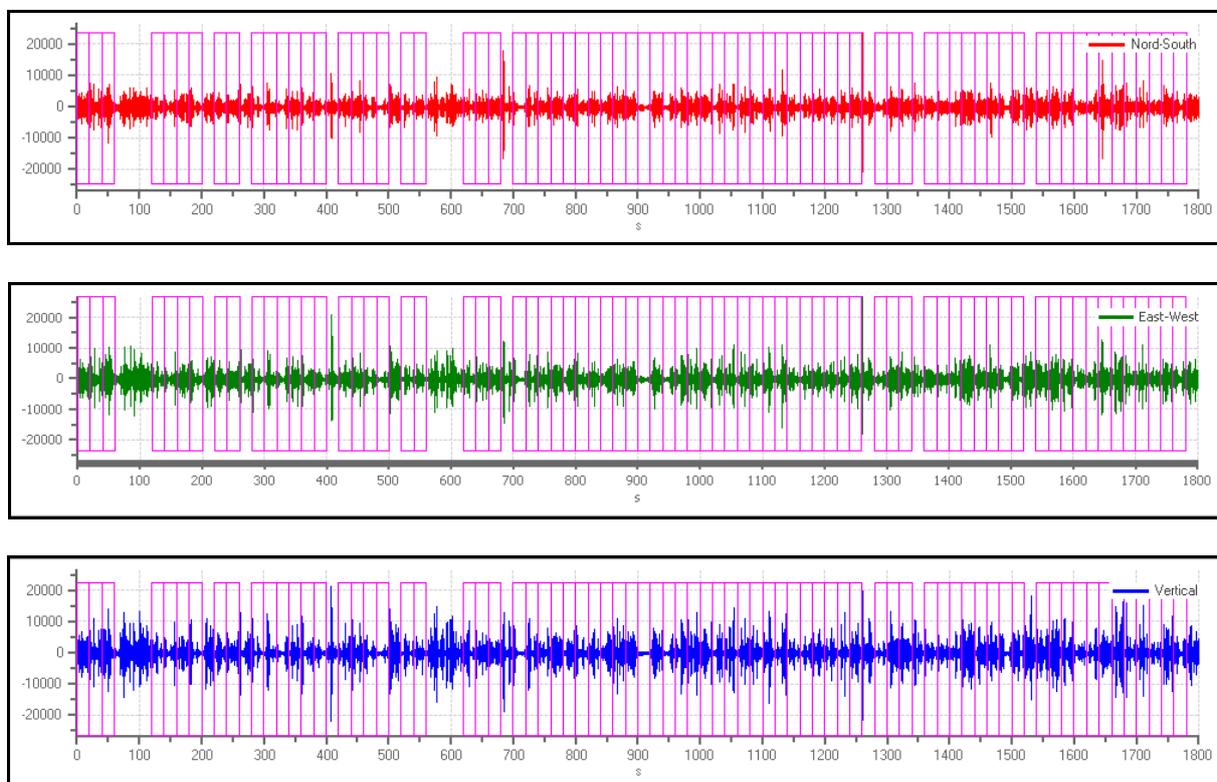


Figura 19. Rappresentazione delle finestre temporali selezionate per l'elaborazione.

Numero di finestre temporali selezionate:	75
Dimensione della finestra temporale [sec]:	20

Tabella 10. Parametri di analisi delle finestre temporali.

Una volta ultimata la fase di selezione delle finestre temporali di interesse è possibile calcolare i seguenti *output*.

- 4) Spettro medio tra le varie finestre temporali individuate per ciascuna direzione (Figura 20);
- 5) Mappa indicante la stazionarietà delle registrazioni (Figura 21);
- 6) Mappa della direzionalità delle registrazioni, la quale fornisce l'andamento del rapporto spettrale H/V al cambiare dell'angolo che le direzioni orizzontali delle registrazioni formano con il sistema di riferimento.

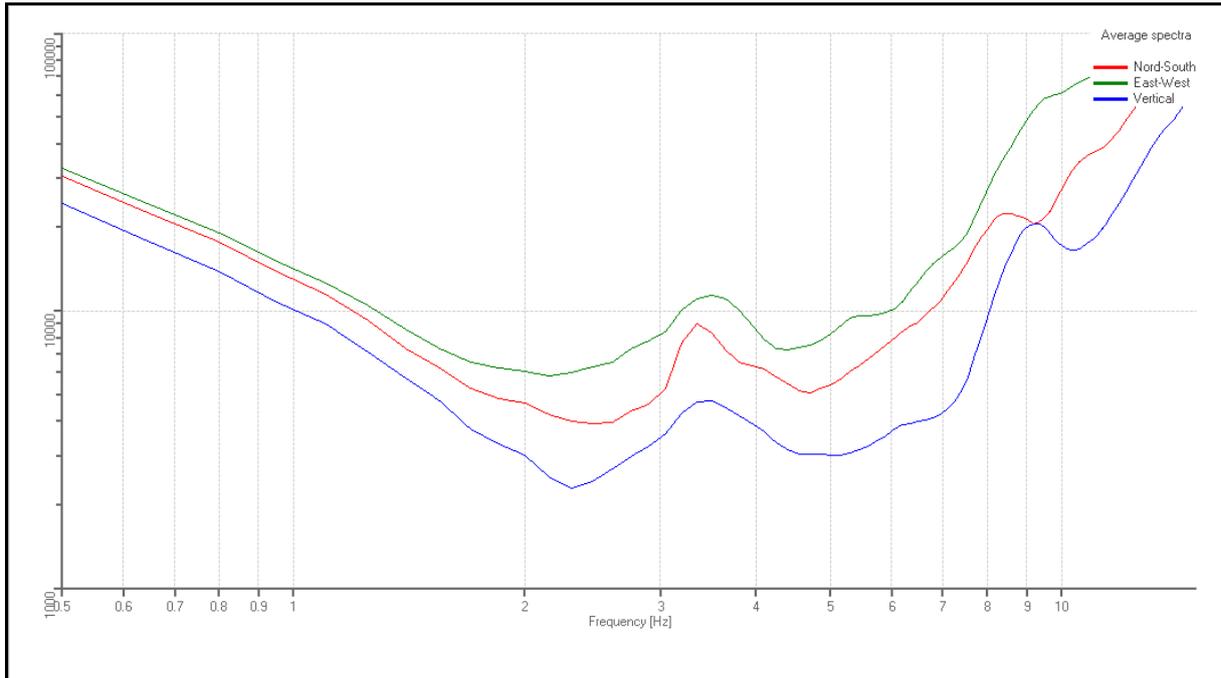


Figura 20. Rappresentazione degli spettri medi nelle tre direzioni.

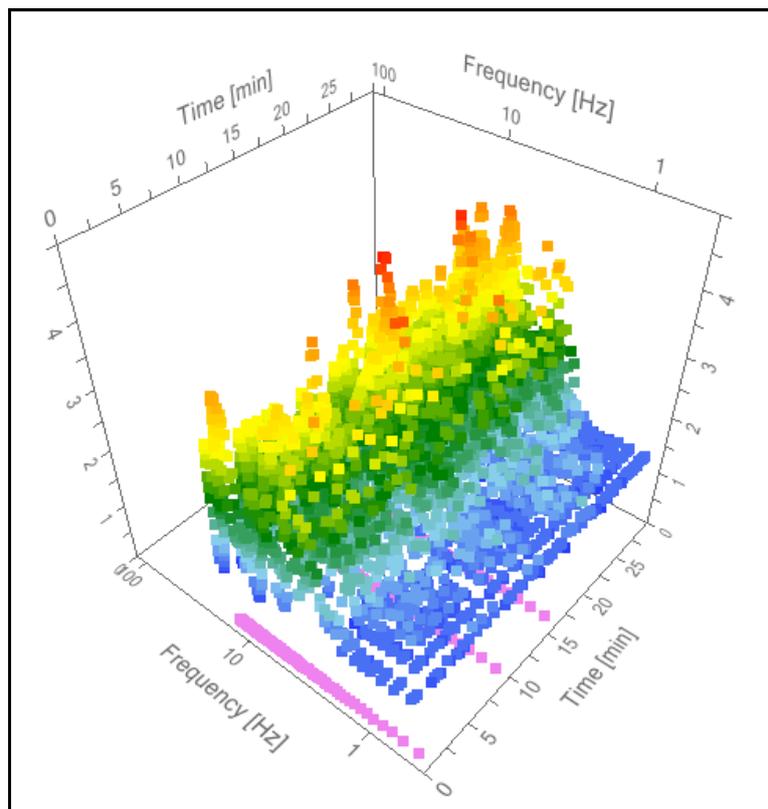


Figura 21. Rappresentazione 3D della stazionarietà delle registrazioni.

Analisi spettrale e calcolo dello spettro H/V:

Una volta completata la selezione delle finestre temporali da analizzare, si passa alla fase successiva, costituita dall'analisi spettrale e dal calcolo dello spettro H/V.

A tale scopo, ai fini di valutare l'affidabilità statistica dei dati utilizzati, viene eseguito all'interno del software un controllo dei requisiti di qualità proposti dal progetto di ricerca europeo 'SESAME' all'interno del documento "Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations – Measurements, processing and interpretations".

Nella seguente tabella vengono riportati tali requisiti, con l'esito del controllo eseguito in relazione alla corrente:

	Condizione di verifica	Stato della verifica
Affidabilità della curva H/V	$f_0 > 10/l_w$	OK
	$n_c(f_0) > 200$	OK
	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	OK
Affidabilità dei picchi	$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Fallita
	$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
	$A_0 > 2$	OK
	$f_{picco} A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$	OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f)$	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

Tabella 11. Controllo di qualità dei dati tramite i criteri SESAME.

Come si evince dagli esiti della verifica riportati in Tabella 11, l'acquisizione dei dati e l'elaborazione finora effettuata su questi risulta compatibile con gli standard imposti dal SESAME ed quindi possibile procedere con l'analisi spettrale ed il calcolo dello spettro H/V.

In particolare l'analisi spettrale effettuata all'interno del software è stata impostata con i seguenti parametri di elaborazione:

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	Frequenza massima di elaborazione [Hz]	Intervallo di frequenza [Hz]
0,5	15	0,15

Tabella 12. Parametri utilizzati per l'analisi spettrale.

Lo spettro H/V medio calcolato a seguito dell'analisi spettrale viene rappresentato dalla linea rossa in Figura 22 ed è rappresentativo della media dei coefficienti di Fourier delle finestre temporali scelte per l'elaborazione all'interno dell'acquisizione di 30 min. Le linee blu indicano invece la deviazione standard dal valore medio.

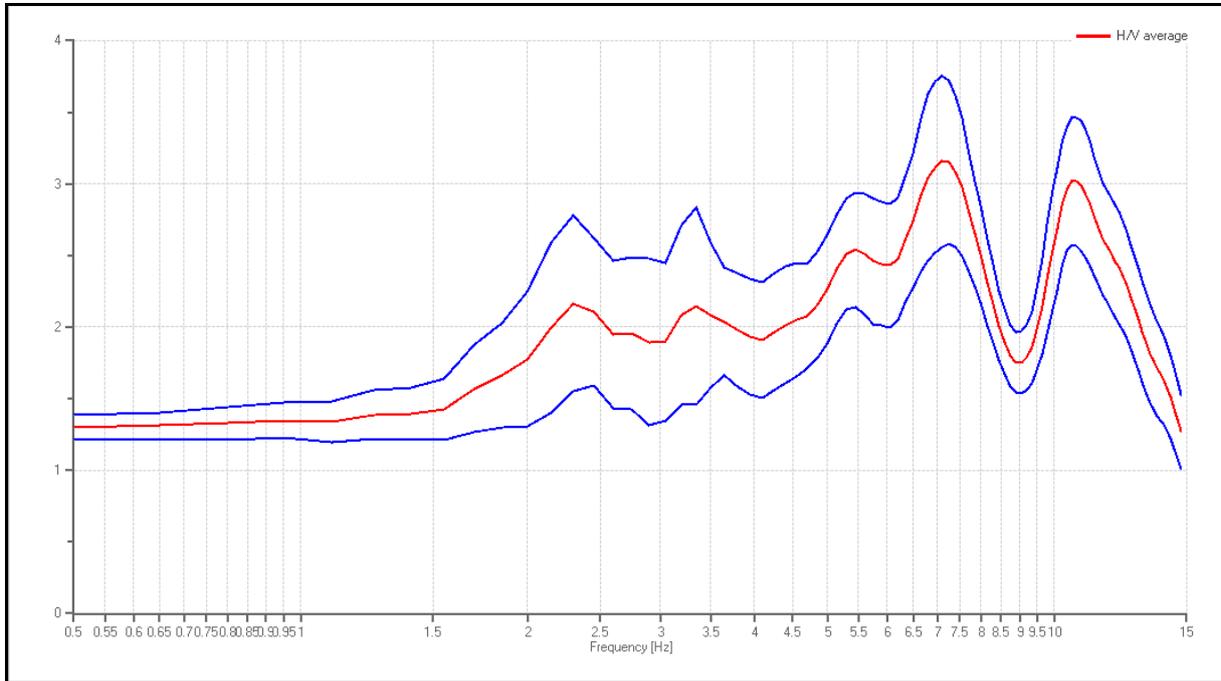


Figura 22. Rappresentazione dello spettro H/V.

Come si evince da Figura 22, la curva H/V mostra due picchi particolarmente definiti, il primo ad una frequenza di 7,10 Hz, mentre il secondo ad una frequenza superiore, a circa 10,70 Hz.

A tal proposito gli studi presenti in letteratura indicano come la presenza di due picchi possa essere riconducibile a due situazioni:

- 1) Origine naturale: in questo caso la presenza di due picchi è legata alla presenza di un duplice contrasto di impedenza acustica a differenti profondità. Ciò è associabile quindi a due repentine e significative differenze dello stato di addensamento dei sedimenti e delle relative velocità di propagazione delle Vs.
- 2) Origine antropica: in questo secondo caso, comune nelle aree antropizzate, la presenza del secondo picco è legata a rumori di fondo di origine antropica (fabbriche, stabilimenti produttivi, ecc.). In linea generale tale tipologia di picco è quello a frequenza più alta e non va considerato ai fini dello studio.

Nel presente caso, si ritiene ragionevole pensare che la presenza del secondo picco, situato alla frequenza di 10,70 Hz sia attribuibile ad un'anomalia dovuta a rumore antropico di fondo, posto che l'acquisizione è stata effettuata in un'area urbana adiacente alla zona industriale di Rovereto. Inoltre le altre indagini geognostiche condotte in sito (sondaggio a carotaggio continuo, MASW e HVSR) hanno messo in evidenza il raggiungimento del *bedrock* a profondità dell'ordine dei 10 m dal p.c.

Nella seguente tabella vengono riportati i risultati dell'elaborazione effettuata all'interno del *software* di analisi, considerando come frequenza fondamentale del sito quella relativa al primo picco individuato:

Frequenza di picco del rapporto H/V [Hz]:	7,10 ± 0,19
Frequenza di picco dell'ellitticità [Hz]:	7,55
Velocità delle Vs30 [m/s]:	584,24

Tabella 13. Parametri in uscita dal modello con metodo HVSR.

5.5 Analisi dei risultati ottenuti

Come si evince dai risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati relativi alle due acquisizioni di sismica passiva, è stata rilevata la presenza di una variazione significativa e repentina dell'impedenza acustica nel sottosuolo. In particolare la prima acquisizione ha dato una frequenza di picco pari a 9,25 Hz, mentre la seconda a 7,10 Hz.

Gli studi presenti in letteratura indicano come valori di frequenza di questa entità stiano generalmente ad indicare una profondità contenuta del sismo-strato generante il contrasto di impedenza. Tale considerazione ben si sposa con quanto emerso dal sondaggio geognostico effettuato in sito, dove il *bedrock* è stato individuato a circa 10 m di profondità.

Si sottolinea in tal senso, come generalmente a picchi di maggior frequenza corrisponda una minor profondità del substrato generante il contrasto di impedenza, mentre picchi con frequenza minore indichino una maggior profondità del substrato stesso.

A fronte di ciò è possibile presupporre che nel punto di indagine denominato 'HVSR2' vi sia una profondità del *bedrock* maggiore rispetto a quella presente nel punto 'HVSR1'; tale ipotesi viene avvalorata dalla differenza della Vs30 calcolata nei due punti, ovvero più alta laddove il *bedrock* è più superficiale e più bassa dove questo è invece più profondo (a parità di caratteristiche fisico-meccaniche della copertura sedimentaria).

Più nello specifico, per quanto riguarda le Vs30, i valori ottenuti dalle due acquisizioni di sismica passiva risultano essere in linea con quanto emerso dall'indagine con tecnica MASW (valore medio pari a 670 m/s), ovvero rappresentativi della scarsa profondità del substrato roccioso (circa 10 m dal p.c.).

Si precisa in tal senso che il *software Easy-HVSR* permette il solo calcolo delle Vs30 e non della Vs.eq..

6 CONCLUSIONI

Su incarico e per conto di INTERGEO Italia S.r.l., è stata redatta la presente “RELAZIONE SULLE ATTIVITA’ DI PROSPEZIONE SISMICA SVOLTE PRESSO L’EX PUNTO VENDITA ENI SITO IN VIA ABETONE 53, C.C. ROVERETO (TN)”.

Il presente studio si è avvalso di un sopralluogo effettuato in sito, di specifiche indagini di prospezione geofisica nonché della conoscenza bibliografica e professionale maturata dagli scriventi nell’ambito geologico dell’area di interesse.

Nello specifico le indagini geofisiche condotte in sito sono state costituite da:

- Esecuzione di N. 1 stendimento geofonico per l’esecuzione di indagine sismica attiva, tramite prova tipo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).
- Esecuzione di N. 2 punti di acquisizione per l’esecuzione di indagini sismiche passive, tramite prova tipo HVSR (*Horizontal over Vertical Signal Ratio*).

Sulla base dei dati lito-stratigrafici a disposizione e delle indagini di prospezione geofisica condotte in sito, sono emersi i seguenti risultati:

- 1) L’indagine tramite metodologia MASW ha permesso la ricostruzione sismo-stratigrafica della zona di indagine, evidenziando un andamento crescente della velocità delle onde di taglio con la profondità.
- 2) Sulla base del profilo verticale delle Vs è stato possibile calcolare il parametro Vs,eq. che è risultato essere pari a 328,80 m/s (considerando un ipotetico piano di fondazione posto ad 1 m di profondità dal p.c.). Data la presenza nel bedrock alla profondità di circa 10 m dal p.c. la categoria di sottosuolo, secondo le NTC 2018, è attribuibile al ‘Tipo E’.
- 3) L’elaborazione dati relativi al rumore sismico di fondo con la tecnica HVSR ha evidenziato valori delle Vs in linea con quanto calcolato tramite l’indagine MASW. Le indagini di sismica passiva hanno inoltre permesso di quantificare la frequenza di risonanza propria del sito, la quale è risultata essere compresa tra 9,25 e 7,10 Hz.

Trento, giugno 2018

Dr. Geol. Dario Zulberti





PUNTO VENDITA CARBURANTI

ROVERETO (TN)

VIA ABETONE 53

RELAZIONE GEOTECNICA

INTERGEO Italia S.r.l – Environmental Technologies

Milano - Via Civitali, 75 - Tel. +39 02 40098039 / 40095252 - Fax. +39 02 48715922 / 40011852

Torino – Via Rismondo, 35 - Tel. +39 011 6476231 - Fax +39 011 6405489

italy@intergeo.com

Preparato per:

C.L.A.I.P.A. S.p.A., Via Roma 34, 46100 Mantova (MN)

Rif.: O001/18/006

Luglio 2018

Sede legale: Milano • REA Milano n. 1694329 • P.Iva e C.F. 03686510961 • Capitale Sociale € 50.000 i.v.

Austria · Germany · Italy · France · United Kingdom · Switzerland · Luxembourg · Czech Republic
Slovakia · Croatia · Hungary · Romania · Poland · Bulgaria · Greece · Cyprus · Turkey · Egypt
Argentina · Venezuela · Panama · Singapore · South Korea · South Africa

PUNTO VENDITA CARBURANTI
ROVERETO (TN)
VIA ABETONE 53
RELAZIONE GEOTECNICA

Elaborato da:



A circular professional stamp from the Ordine dei Geologi della Toscana, Sezione A, N. 1581. The stamp contains the text: "ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA", "DOTT. GEOL. DOMENICO VENEZIANO", "N. 1581", and "sez. A". A blue ink signature, "Domenico Veneziano", is written across the stamp.

Dott. Domenico Veneziano
Ordine dei Geologi della Toscana
N. 1581 sez. A

INTERGEO ITALIA S.r.l.
Luglio 2018
Rif.: 0001/18/006

INDICE

1	Introduzione	4
1.1	Analisi del progetto	4
2	Metodi e parametrizzazione geotecnica	5
2.1	Prove Penetrometriche dinamiche in foro	5
2.2	Risultati delle Prove Penetrometriche	5
3	Modello geotecnico	7
4	Conclusioni	9

Tavole

1. Planimetria area e ubicazione punti di indagine

Allegati

1. Interpretazione SPT

1 Introduzione

Nella presente Relazione Geotecnica, redatta in conformità al DM 17 Gennaio 2018 (NTC2018) su incarico della C.L.A.I.P.A. S.p.A, si illustrano le caratteristiche geotecniche relative al lotto di proprietà del committente sito in Via Abetone 53 nel territorio comunale di Rovereto (TN) su cui è previsto un intervento di riqualificazione.

Sulla base delle osservazioni, dei dati acquisiti durante la campagna geognostica e presentati nella Relazione Geologica, nonché del modello geologico elaborato vengono estrapolate le informazioni per la redazione del presente documento.

In particolare la presente Relazione Geotecnica elabora i risultati delle indagini geognostiche e geotecniche, esposti nella Relazione Geologica, integrandoli ai fini della caratterizzazione geotecnica del sito per individuare criticità e compatibilità in relazione alla fattibilità tecnica delle opere.

Il documento illustra le caratteristiche meccaniche dei terreni e definisce un modello geotecnico di riferimento per la progettazione.

I dati illustrati si riferiscono ad elaborazioni delle indagini geotecniche realizzate in fase di indagine geognostica, in particolare prove penetrometriche dinamiche in foro SPT.

Per la descrizione geologica, la normativa di riferimento e l'analisi dei vincoli si rimanda al documento Relazione Geologica sulle indagini del sito (Rif. Rel. O001/18/005).

1.1 Analisi del progetto

Il documento è redatto a supporto del Piano di Lottizzazione 06a ambito B come previsto dalle prescrizioni di legge. Nell'area è prevista la costruzione di una struttura ricettiva e la sistemazione delle aree adiacenti con parcheggi e aree verdi.

2 Metodi e parametrizzazione geotecnica

2.1 Prove Penetrometriche dinamiche in foro

Nel paragrafo 7.11.5.2 delle NTC2018 il modello geotecnico del sottosuolo da utilizzare nelle verifiche viene definito sulla base della interpretazione dei risultati di indagini e prove definite dal progettista.

La parametrizzazione geotecnica del sottosuolo è stata effettuata sulla base di una valutazione delle caratteristiche meccaniche interpretate dai dati geofisici acquisiti, da valutazioni sulle carote dei sondaggi effettuati e dalla elaborazione delle prove penetrometriche in foro SPT.

La scelta della tipologia di indagine geotecnica, prove penetrometriche dinamiche in foro, è stata effettuata sulla base della composizione litostratigrafica del sottosuolo, già illustrata nella relazione geologica sopra citata, costituita prevalentemente da materiale granulare e grossolano.

La prova SPT, codificata dagli standard ASTM D 1586-86, è volta alla registrazione della resistenza che un terreno oppone alla penetrazione di una punta a partire dalla superficie del fondo foro di un sondaggio geognostico che dopo la prova SPT può essere approfondito ulteriormente. La resistenza offerta alla penetrazione è dipendente dalle caratteristiche tecniche del materiale attraversato.

La prova SPT consiste nel percuotere con un maglio del peso di 63,5 Kg da una altezza fissa di 760 mm una testa di battuta alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è fissata una punta chiusa di dimensioni standard.

Il numero di colpi (N) necessario per la penetrazione del campionatore pari a 300 mm dopo 150 mm di infissione dinamica è il valore che indica la resistenza alla penetrazione N_{spt} . La prova viene sospesa quando l'infissione della punta su un tratto di 150 mm richiede più di 50 colpi. In questo caso si definisce *rifiuto* la condizione e si assume come cautelativo il valore di 50 colpi.

Il numero di colpi sulla testa di battuta è influenzato dalla pressione litostatica per cui le misure risulterebbero disomogenee per profondità di indagine differente. Per ovviare a questo problema la lettura in cantiere viene corretta mediante un coefficiente C_n che dipende dal valore della pressione verticale efficace σ'_v .

2.2 Risultati delle Prove Penetrometriche

Le prove SPT sono state eseguite nel foro di sondaggio S1 alla profondità di 2,0 m; 3,0 m; 4,5 m e 8 m (Tavola 1). Le prove sono state effettuate fino alla profondità di 8 m per avere una valutazione utile su tutto il volume significativo e un riscontro delle caratteristiche interpretate dalla indagine MASW che segnalava un incremento delle capacità tecniche del terreno di fondazione con la profondità.

Di seguito vengono riportati i dati delle letture in campagna:

- Alla profondità di 2,0 m venivano registrati per gli incrementi di 150mm un numero di colpi pari: a 1 per il primo tratto; 1 per il secondo e 1 per il terzo.
- Alla profondità di 3,0 m venivano registrati per gli incrementi di 150 mm un numero di colpi pari: a 4 per il primo tratto; 13 per il secondo e 7 per il terzo.
- Alla profondità di 4,5 m venivano registrati per gli incrementi di 150 mm un numero di colpi pari: a 4 per il primo tratto; 5 per il secondo e 8 per il terzo.
- Alla profondità di 8,0 m venivano registrati per gli incrementi di 150 mm un numero di colpi pari: a 34 per il primo tratto; 28 per il secondo e 26 per il terzo.

In Allegato 1 si riporta l'interpretazione dei valori registrati in campagna alle profondità indicate sopra.

3 Modello geotecnico

Sulla base dei dati reperiti durante la campagna geognostica e l'interpretazione di questi è possibile formulare il seguente modello geotecnico di riferimento:

- Da 0 a 1,6 m: un livello di riporto grossolano sciolto con caratteristiche granulari, osservato durante le operazioni di prescavo. Questo livello è, probabilmente, discontinuo nelle sue caratteristiche tecniche essendo un piazzale su cui sono state realizzate opere differenti; una variazione delle caratteristiche granulometriche e di addensamento è stata riscontrata infatti nei 3 sondaggi. Le caratteristiche tecniche locali osservate durante l'esecuzione dei prescavi vengono considerate analoghe a quelle dello strato sottostante su cui è stata eseguita la prova SPT. Si consiglia di verificare le caratteristiche e la continuità di questo strato durante la fase di scavo per l'imposta delle fondazioni;
- Da 1,6 a 2,60 m: un livello di materiale granulare fine (sabbia) con intercalazioni centrimetriche di limo, più abbondanti nell'area dei sondaggi S2 e S3 non interessate da carichi sostanziali nel progetto. A questo strato si attribuiscono valori densità relativa $D_r=21\%$ e di angolo di attrito $\phi'=31^\circ$
- Un terzo strato è identificabile tra 2,6 e 4 m, uno strato costituito da ghiaia con sabbia con $D_r=57\%$ e $\phi'=43^\circ$
- Un livello di sabbia ghiaiosa che da 4 m arriva fino a circa 8 m con $D_r=43\%$ e $\phi'=41^\circ$
- Da 8 m un livello di ghiaia e sabbia addensati con $D_r=79\%$ e $\phi'=44^\circ$.
- A 10 m si incontra il substrato carbonatico.

I terreni osservati, a meno di livelli sottili di materiale più fine, non presentano coesione.

Quanto detto viene sintetizzato nella Tabella 1 seguente:

Profondità (m)	Peso di volume KN/m ³	D_r	ϕ'	C
0 - 1,6	17,50	21	30	0
1,6 - 2,6	18,0	21	31	0
2,6 - 4	19,0	57	43	0
4 - 8	19,0	43	41	0
8 - 10	19,0	79	44	0
substrato				

Tabella 1 - Parametri geotecnici derivati dalla interpretazione delle prove SPT

I parametri geotecnici registrati vengono ridotti, secondo i dettami della normativa vigente, per coefficienti parziali γ_m ai fini delle verifiche agli Stati limite. In particolare si fa riferimento alla Tabella 6.2.II delle NTC2018 in cui i parametri geotecnici M1 e M2 vengono corretti mediante coefficienti di riduzione specifici.

Secondo quanto detto la tabella dei parametri geotecnici caratteristici risulta, dopo l'applicazione dei coefficienti di riduzione:

Profondità (m)	Peso di volume KN/m ³ (M1; M2)	Tan ϕ' (M1)	Tan ϕ' (M2)
0 - 1,6	17,50	0,38	0,30
1,6 - 2,6	18,0	0,38	0,30
2,6 - 4	19,0	1,54	1,23
4 - 8	19,0	0,93	0,74
8 - 10	19,0	5,14	4,11

Tabella 2 - Parametri caratteristici ridotti sulla base dei valori di normativa

4 Conclusioni

Le analisi condotte e le osservazioni sui dati permettono di formulare un giudizio di ammissibilità su base geotecnica positivo del progetto di Piano di Lottizzazione 06a ambito B.

Il progetto comprende:

- La realizzazione di un manufatto
- La riqualificazione dell'area con parcheggi e aree a verde.

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti delle NTC2018.

TAVOLA



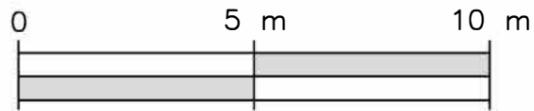
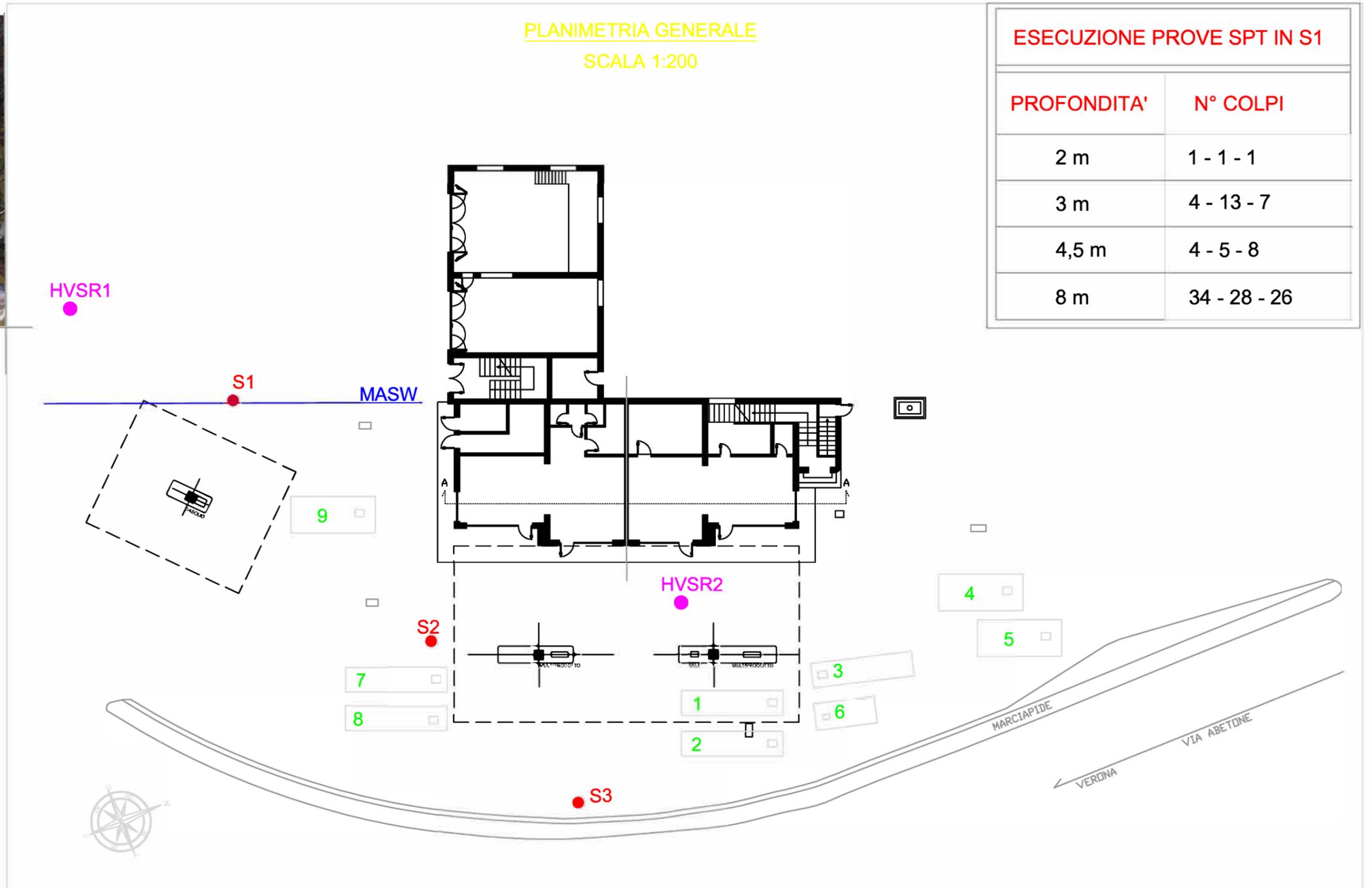
PLANIMETRIA GENERALE

SCALA 1:200

ESECUZIONE PROVE SPT IN S1

PROFONDITA'	N° COLPI
2 m	1 - 1 - 1
3 m	4 - 13 - 7
4,5 m	4 - 5 - 8
8 m	34 - 28 - 26

Legenda	
S1	Ubicazione sondaggio
6	Serbatoi
MASW	Ubicazione prova MASW
HSVR1	Ubicazione prova HSVR



COMMITTENTE C.L.A.I.P.A. S.p.A.		SITO PV ROVERETO (TN) VIA ABETONE SUD	
PROGETTAZIONE INTERGEO www.intergeo.com		DATA 10/07/2018	
INTERGEO Italia S.r.l - Environmental Technologies Via Civitali, 75 - 20148 Milano www.intergeo.com		DISEGNATORE Elena Buffoni	CONTROLLO Domenico Veneziano
		PROGETTO Relazione Geotecnica	TAVOLA 1
		DESCRIZIONE PLANIMETRIA AREA E UBICAZIONE PUNTI DI INDAGINE	
		SCALA 1:200 (A3)	
		RIF. Prog. 0001/18/006	

Appendice 1

Interpretazione SPT

NORMALIZZAZIONE PROVE SPT

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \frac{ER}{60} C_N C_R$$

$$D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_D}}$$

65 sabbia grossa e ghiaietto
 C_D = 60 sabbia media
 55 sabbia fine
 ER = 60
 $C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}}$
 0.75 0-3 m
 0.80 3-4 m
 C_R = 0.85 4-6 m
 0.95 6-10 m
 1 10-30 m

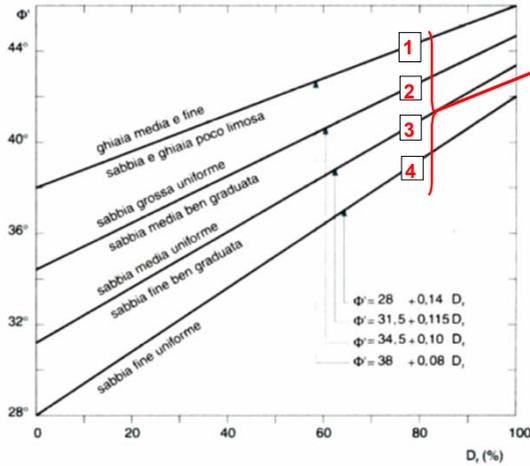
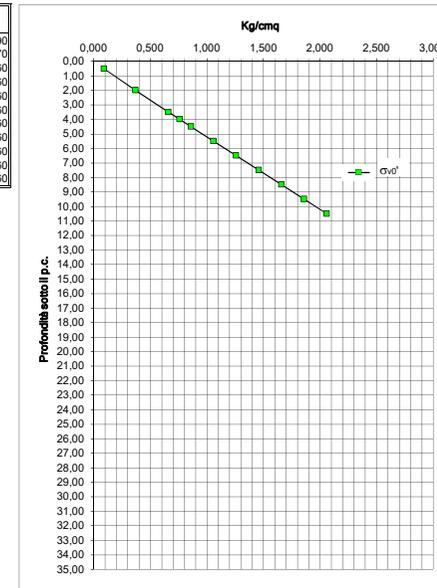
Profondità prova SPT **2** m
 Numero di colpi N_{spt} **2**

C_d = **55**
 ER = **60**
 σ_{v0}' = **0,37** kg/cmq
 C_n = **1,64398987**
 C_r = **0,75**
 (N1)60 = **2**
 D_r = **21** %

Granulometria **4**
 φ' = **31**

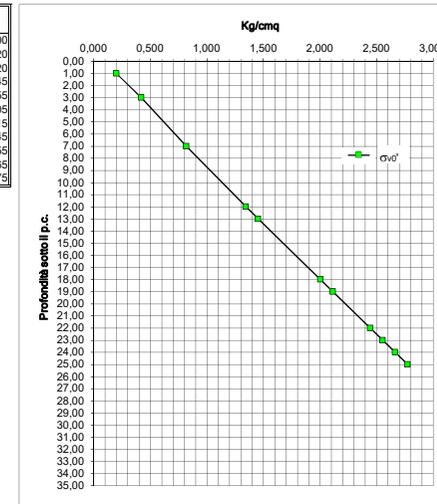
Z (m)		S m	Z _{med.}		σ _{v0} ' Kg/cmq
da	a		dal p.c.	γ h' Kg/mc	
0,00	1,00	1,00	0,50	1,80	0,090
1,00	3,00	2,00	2,00	1,90	0,370
3,00	4,00	1,00	3,50	2,00	0,660
4,00	4,00	0,00	4,00	1,95	0,760
4,00	5,00	1,00	4,50	2,00	0,860
5,00	6,00	1,00	5,50	2,00	1,060
6,00	7,00	1,00	6,50	2,00	1,260
7,00	8,00	1,00	7,50	2,00	1,460
8,00	9,00	1,00	8,50	2,00	1,660
9,00	10,00	1,00	9,50	2,00	1,860
10,00	11,00	1,00	10,50	2,00	2,060

PRESSIONE LITOSTATICA EFFICACE ALLA MEZZERIA DELLO STRATO



Z (m)		S m	Z _{med.}		σ _{v0} ' Kg/cmq
da	a		dal p.c.	γ h' Kg/mc	
0,00	1,00	1,00	0,50	2,00	0,200
1,00	3,00	2,00	2,00	1,10	0,420
3,00	7,00	4,00	5,00	1,00	0,820
7,00	12,00	5,00	9,50	1,05	1,345
12,00	13,00	1,00	12,50	1,10	1,455
13,00	18,00	5,00	15,50	1,10	2,005
18,00	19,00	1,00	18,50	1,10	2,115
19,00	22,00	3,00	20,50	1,10	2,445
22,00	23,00	1,00	22,50	1,10	2,555
23,00	24,00	1,00	23,50	1,10	2,665
24,00	25,00	1,00	24,50	1,10	2,775

PRESSIONE LITOSTATICA EFFICACE ALLA BASE DELLO STRATO



NORMALIZZAZIONE PROVE SPT

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \frac{ER}{60} C_N C_R$$

$$D_R = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_D}}$$

65 sabbia grossa e ghiaietto
 $C_D = 60$ sabbia media
 55 sabbia fine
 $ER = 60$
 $C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}}$
 0.75 0 - 3 m
 0.80 3 - 4 m
 $C_R = 0.85$ 4 - 6 m
 0.95 6 - 10 m
 1 10 - 30 m

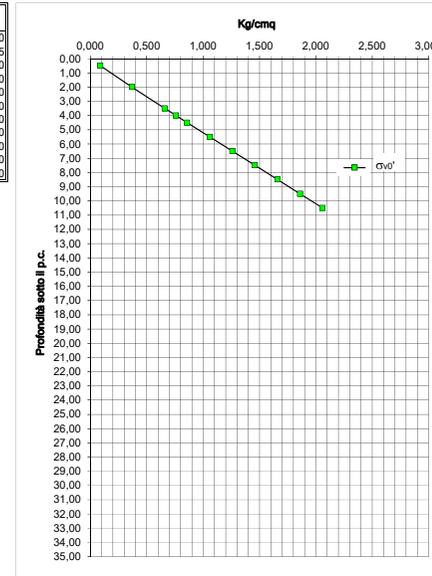
Profondità prova SPT **3** m
 Numero di colpi N_{spt} **20**

Cd = 65
ER = 60
σ_{v0}' = 0,57 kg/cm²
Cn = 1,32453236
Cr = 0,8
(N1)60 = 21
Dr = 57 %

Granulometria **1**
φ' = 43

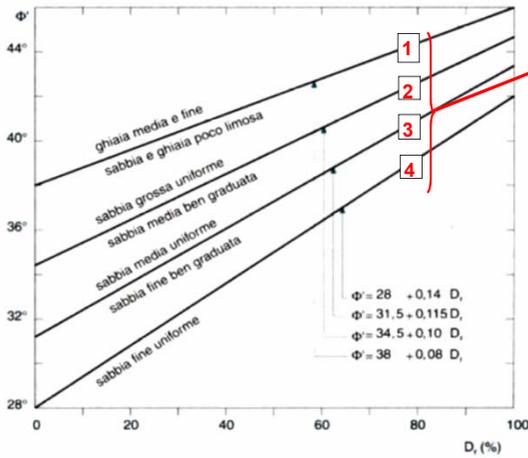
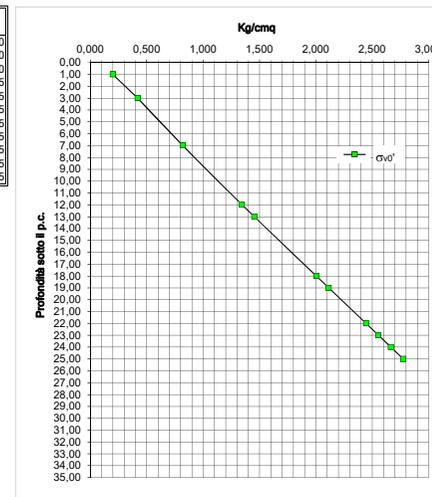
Z (m)		S m	Z _{test}		σ _{v0} ' Kg/cm ²
da	a		dal p.c.	l'v'	
0,00	1,00	1,00	0,50	1,80	0,090
1,00	2,00	1,00	1,50	1,90	0,275
2,00	4,00	2,00	3,00	2,00	0,570
4,00	4,00	0,00	4,00	1,95	0,770
4,00	5,00	1,00	4,50	2,00	0,870
5,00	6,00	1,00	5,50	2,00	1,070
6,00	7,00	1,00	6,50	2,00	1,270
7,00	8,00	1,00	7,50	2,00	1,470
8,00	9,00	1,00	8,50	2,00	1,670
9,00	10,00	1,00	9,50	2,00	1,870
10,00	11,00	1,00	10,50	2,00	2,070

PRESSIONE LITOSTATICA EFFICACE ALLA MEZZERIA DELLO STRATO



Z (m)		S m	Z _{test}		σ _{v0} ' Kg/cm ²
da	a		dal p.c.	l'v'	
0,00	1,00	1,00	0,50	2,00	0,200
1,00	3,00	2,00	2,00	1,10	0,420
3,00	7,00	4,00	5,00	1,00	0,820
7,00	12,00	5,00	9,50	1,05	1,345
12,00	13,00	1,00	12,50	1,10	1,455
13,00	18,00	5,00	15,50	1,10	2,005
18,00	19,00	1,00	18,50	1,10	2,115
19,00	22,00	3,00	20,50	1,10	2,445
22,00	23,00	1,00	22,50	1,10	2,555
23,00	24,00	1,00	23,50	1,10	2,665
24,00	25,00	1,00	24,50	1,10	2,775

PRESSIONE LITOSTATICA EFFICACE ALLA BASE DELLO STRATO



NORMALIZZAZIONE PROVE SPT

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \frac{ER}{60} C_N C_R$$

$$D_R = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_D}}$$

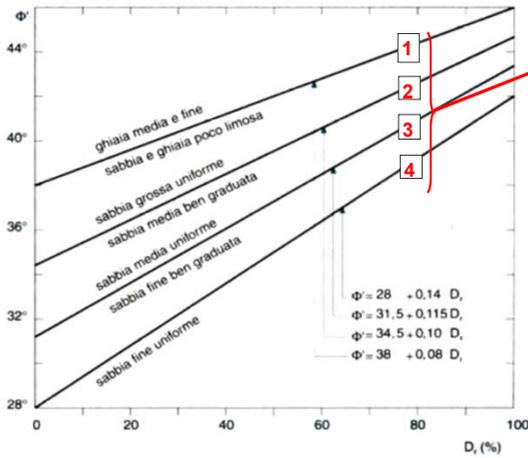
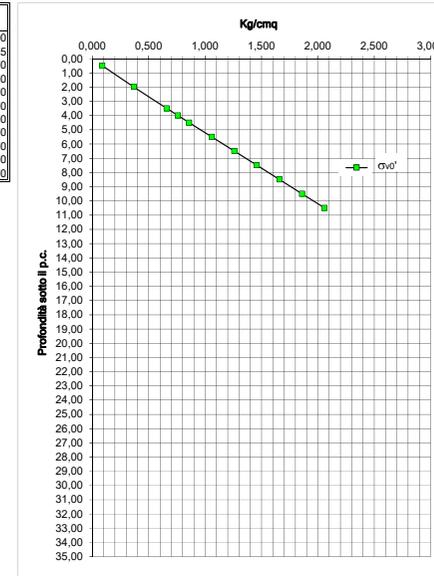
65 sabbia grossa e ghiaietto
 C_D = 60 sabbia media
 55 sabbia fine
 ER = 60
 $C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}}$
 0.75 0-3 m
 0.80 3-4 m
 C_R = 0.85 4-6 m
 0.95 6-10 m
 1 10-30 m

Profondità prova SPT **4,5** m
 Numero di colpi N_{spt} **13**

C_d = **65**
 ER = **60**
 σ_{v0}' = **0,87** kg/cm²
 C_n = **1,07211253**
 C_r = **0,85**
 (N1)60 = **12**
 D_r = **43** %

Z (m)	S (m)	Z _{test} dal p.c.	v _{h'} Kg/stm ²	σ _{v0} ' Kg/cm ²	
0,00	1,00	1,00	0,50	1,80	0,090
1,00	2,00	1,00	1,50	1,90	0,275
2,00	3,00	1,00	2,50	2,00	0,470
3,00	4,00	1,00	3,50	2,00	0,670
4,00	5,00	1,00	4,50	2,00	0,870
5,00	6,00	1,00	5,50	2,00	1,070
6,00	7,00	1,00	6,50	2,00	1,270
7,00	8,00	1,00	7,50	2,00	1,470
8,00	9,00	1,00	8,50	2,00	1,670
9,00	10,00	1,00	9,50	2,00	1,870
10,00	11,00	1,00	10,50	2,00	2,070

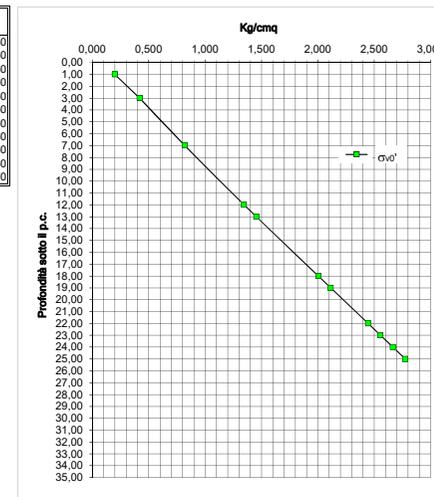
PRESSIONE LITOSTATICA EFFICACE ALLA MEZZERIA DELLO STRATO



Granulometria **1**
 φ' = **41**

Z (m)	S (m)	Z _{test} dal p.c.	v _{h'} Kg/stm ²	σ _{v0} ' Kg/cm ²	
0,00	1,00	1,00	0,50	1,80	0,180
1,00	3,00	2,00	2,00	1,90	0,560
3,00	7,00	4,00	5,00	2,00	1,360
7,00	12,00	5,00	9,50	2,00	2,360
12,00	13,00	1,00	12,50	2,00	2,560
13,00	18,00	5,00	15,50	2,00	3,560
18,00	19,00	1,00	18,50	2,00	3,760
19,00	22,00	3,00	20,50	2,00	4,360
22,00	23,00	1,00	22,50	2,00	4,560
23,00	24,00	1,00	23,50	2,00	4,760
24,00	25,00	1,00	24,50	1,10	4,870

PRESSIONE LITOSTATICA EFFICACE ALLA BASE DELLO STRATO



NORMALIZZAZIONE PROVE SPT

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \frac{ER}{60} C_N C_R$$

$$D_R = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{C_D}}$$

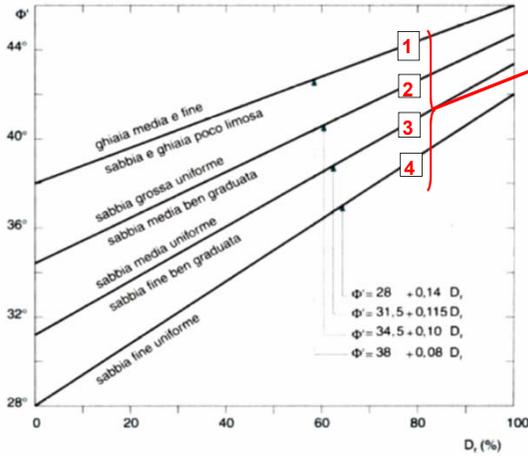
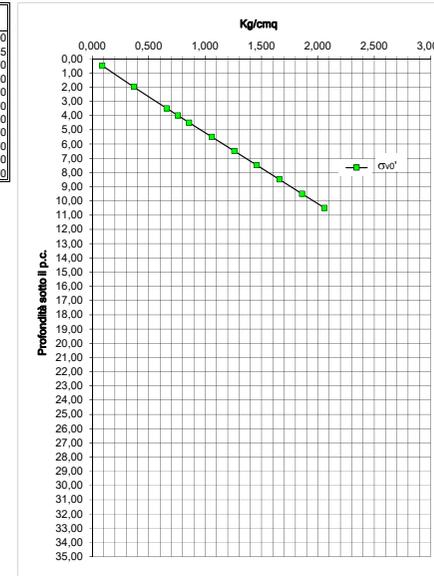
65 sabbia grossa e ghiaietto
 C_D = 60 sabbia media
 55 sabbia fine
 ER = 60
 $C_N = \sqrt{\frac{p_a}{\sigma'_{v0}}}$
 0.75 0-3m
 0.80 3-4m
 C_R = 0.85 4-6m
 0.95 6-10m
 1 10-30m

Profondità prova SPT **8** m
 Numero di colpi N_{spt} **54**

C_d = **65**
 ER = **60**
 σ_{v0}' = **1,57** kg/cm²
 C_n = **0,79808688**
 C_r = **0,95**
 (N1)60 = **41**
 D_r = **79** %

Z (m)		S m	Z _{test}		σ _{v0} ' Kg/cm ²
da	a		dal p.c.	h'	
0,00	1,00	1,00	0,50	1,80	0,090
1,00	2,00	1,00	1,50	1,90	0,275
2,00	3,00	1,00	2,50	2,00	0,470
3,00	4,00	1,00	3,50	2,00	0,670
4,00	5,00	1,00	4,50	2,00	0,870
5,00	6,00	1,00	5,50	2,00	1,070
6,00	7,00	1,00	6,50	2,00	1,270
7,00	9,00	2,00	8,00	2,00	1,570
9,00	9,00	0,00	9,00	2,00	1,770
9,00	10,00	1,00	9,50	2,00	1,870
10,00	11,00	1,00	10,50	2,00	2,070

PRESSIONE LITOSTATICA EFFICACE ALLA MEZZERIA DELLO STRATO



Granulometria **1**
 φ' = **44**

Z (m)		S m	Z _{test}		σ _{v0} ' Kg/cm ²
da	a		dal p.c.	h'	
0,00	1,00	1,00	0,50	1,80	0,180
1,00	3,00	2,00	2,00	1,90	0,560
3,00	7,00	4,00	5,00	2,00	1,360
7,00	12,00	5,00	9,50	2,00	2,360
12,00	13,00	1,00	12,50	2,00	2,560
13,00	18,00	5,00	15,50	2,00	3,560
18,00	19,00	1,00	18,50	2,00	3,760
19,00	22,00	3,00	20,50	2,00	4,360
22,00	23,00	1,00	22,50	2,00	4,560
23,00	24,00	1,00	23,50	2,00	4,760
24,00	25,00	1,00	24,50	1,10	4,870

PRESSIONE LITOSTATICA EFFICACE ALLA BASE DELLO STRATO

