

G.EDI.S. s.r.l.

sede legale: Via Frattina, 10 - 00187 Roma



sede amministrativa:
P.zza Martiri della Libertà, 54 – 02047 POGGIO MIRTETO (RI)
Tel 0765/441102 (St) 0765/206263 (Fax)
329/9171242 (Cell)
e-mail: info@gedis-srl.com

COMUNE DI ALESSANDRIA (AL)

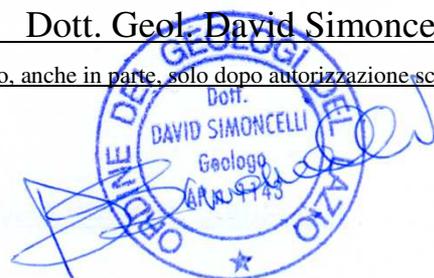


Relazione geologica inerente il progetto per la realizzazione di un nuovo
impianto fotovoltaico da 15.24 MWp, presso il terreno sito in località C.
Maddalena, Via Casalcermelli, su committenza della Società Ellomay Solar
Italy Three S.r.l. (F. 122, Part. 10, 13, 24, 56)

Roma, Novembre 2021

Dott. Geol. David Simoncelli

E' riservata la proprietà di questo elaborato che potrà essere riprodotto, anche in parte, solo dopo autorizzazione scritta



PREMESSE

Sulla base di quanto richiesto dalla committenza, è stata redatta una relazione geologica inerente il progetto per la realizzazione di un nuovo impianto fotovoltaico da 15.24 MW, presso il terreno sito in località C. Maddalena, Via Casalcermeli, su committenza della Società Ellomay Solar Italy Three S.r.l. (F. 122, Part. 10, 13, 24).

Secondo i dati forniti dai progettisti, l'intervento prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico della potenza di 15,24 MWp su tracker monoassiali singoli distanziati con interasse 5,5 m, un cavidotto interrato che corre lungo la strada Casalcermeli (strada provinciale SP185) che collega l'impianto con la relativa cabina elettrica di consegna, ubicata vicino alla sottostazione di Alta tensione esistente "Aulara". Il terreno nel quale è previsto il progetto è caratterizzato da un'estensione totale di circa 22 ha (F. 122, Part. 10, 13, 24, 56).

Allo scopo di ricostruire l'andamento stratigrafico del sito e di valutare le caratteristiche geotecniche e sismiche locali del terreno, sono state pertanto eseguite le seguenti indagini:

- un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- acquisizione dati tratti da studi effettuati in aree limitrofe, da materiale bibliografico e dalla consultazione di materiale cartografico redatto dalla Regione Piemonte, Arpa Piemonte e ISPRA-Progetto CARG, Servizio Geologico d'Italia;

- n°2 prove penetrometriche dinamiche continue eseguite tramite l'utilizzo dello strumento di tipo medio (DL-30);
- n°1 prova di rumore (HVSR) eseguita tramite tromografo digitale "*Tromino*" ed elaborazione dati mediante il software "*Grilla*", forniti entrambe della Società Micromed spa;
- n°1 MASW eseguita mediante sismografo "Sysmatrack" multicanale (12 canali) fornito dalla Società "MAE advanced geophysics instruments";
- misurazioni con strumenti portatili sugli affioramenti presenti.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

L'area in cui è prevista l'opera è posta a circa 95 m s.l.m. e dista circa 2.4 km in direzione S dal centro storico di Alessandria, in corrispondenza di un'area di fondovalle caratterizzata da bassa antropizzazione e da pendenze molto blande che degradano verso i quadranti orientali, in direzione del Fiume Bormida.

In relazione alle condizioni topografiche del sito in esame (Tab. 3.2.III delle N.T.C. 2018) si definisce la Categoria T1 [superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$] corrispondente ad un Coefficiente di Amplificazione Topografica $ST = 1.00$.

Essa è descritta nel F°70 – “Alessandria” della Carta Geologica d’Italia in scala al 100000 e nella sezione 176120 della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) in scala 1:10000 edita dalla Regione Piemonte.

Geologia generale

Dal punto di vista geo-litologico locale, anche sulla base delle indicazioni riportate sul Foglio 70 “Alessandria” della CARTA GEOLOGICA D’ITALIA in scala 1:100.000 (seconda edizione, 1970), il lotto in esame si colloca nel settore settentrionale del Bacino Terziario Ligure Piemontese, che rappresenta un bacino di tipo sedimentario-detritico, dove si deposita dal Paleocene al Miocene superiore una successione sedimentaria costituita da formazioni arenacee, marnose ed evaporitiche testimoniando una fase regressiva che dal cretaceo prosegue per buona parte del Terziario.

Successivamente, nel Plio-Pleistocene, questi depositi vengono coperti dai sedimenti della piana di Asti-Alessandria, costituiti da sedimenti di ambiente marino (Argille di Lugagnano e Sabbie di Asti – Pliocene) e da sedimenti di ambiente subaereo (Villafranchiano). Infine, la successione stratigrafica, dal Pleistocene all’Olocene, viene ricoperta dai depositi alluvionali, terrazzati e non, dei corsi d’acqua.

In quest’area il Bacino Terziario Ligure Piemontese è caratterizzato da una struttura sinclinale il cui asse con direzione E-W, è ubicato, in questo settore, in corrispondenza della Valle Tanaro. Pertanto il sito si colloca sul fianco settentrionale della suddetta struttura.

Il Bacino terziario Ligure Piemontese strutturalmente si può considerare composto da tre grandi Unità:

- l'Unità del Basso Monferrato posta a Nord, costituita da terreni e rocce prevalentemente sedimentari, che formano i rilievi collinari che si estendono da Torino a Casale-Voghera (Collina Torino-Casale);

- l'Unità della Sinclinale (o Bacino) di Asti, posta al centro, costituita da una successione di terreni sedimentari marnosi e arenacei nelle formazioni più profonde; argillosi e sabbiosi nelle formazioni più superficiali (Argille Azzurre del Lugagnano e Sabbie di Asti e Villafranchiano);

- l'Unità delle Langhe, posta a Sud quindi al margine del Bacino Terziario stesso, costituita da successioni di alternanze di formazioni di materiali sedimentari marnosi e arenaceo-sabbiosi.

Secondo quanto riportato dalla cartografia ufficiale, il settore in studio è caratterizzato dalla presenza, in sequenza dal basso verso l'alto, dei seguenti litotipi:

□ Formazione delle Argille di Lugagnano (Pliocene medio-inferiore): denominate P nella C.G.I "Alessandria", rappresentano sedimenti di mare aperto, non troppo profondo di piattaforma continentale; sono argille limoso-marnose grigio-azzurre, a volte debolmente sabbiose, compatte, con abbondanti resti fossili (in prevalenza gasteropodi); la potenza si aggira sui 70-80 m mentre la giacitura è tranquilla con inclinazione degli strati poco accentuate ed immersione verso S;

□ Formazione della Sabbie di Asti (Pliocene medio-superiore): denominate P3-2 nella C.G.I “Alessandria”, affiorano in continuità stratigrafica sulle Argille di Lugagnano; si tratta di una formazione costituita prevalentemente da “sabbie gialle più o meno stratificate con livelli ghiaiosi ed intercalazioni marnose, calcareniti e calciruditi (PLIOCENE)”; questa formazione rappresenterebbe un deposito marino avvenuto a profondità limitate (10 – 40 m) e controllato dalla forte energia idrodinamica del moto ondoso e delle correnti di marea; alternanze sabbiose-argillose alla sommità (11 "Villafranchiano auct.");

□ Fluviale e Fluvio-lacustre antichi costituiti da alluvioni ghiaiose, sabbiose, siltoso-argillose, fortemente alterate con prodotti di alterazione rossastri (fl2); alla base ghiaie alterate alternantisi con argille (12 "Villafranchiano auct.");

□ Fluviale medio costituito da alluvioni prevalentemente sabbioso-siltoso-argillose, con prodotti di alterazione di colore giallastro.

La sequenza stratigrafica della Serie dei Depositi Marini di età pliocenica, affiorante in corrispondenza dei rilievi collinari del Monferrato si approfondisce rapidamente procedendo verso il centro della pianura stessa sino a non risultare più raggiungibili da pozzi e sondaggi. In tale settore questa fa parte integrante delle strutture sepolte, essendo stata anch'essa deformata dai movimenti tettonici responsabili della formazione di un bacino asimmetrico, allungato SE-NW (da Serravalle Scrivia ad Alessandria), interpretabile come un bacino piggy-

back, formatosi alle spalle dei thrust rappresentanti il modello deformativo sepolto della zona. La dorsale Tortona-Montecastello rappresenta in quest'ottica la culminazione assiale di uno di questi thrust separando il bacino di Alessandria (a S della dorsale) dal bacino della pianura tortonese (posto a N della dorsale) che si raccorda più a N con la Pianura Padana. In corrispondenza della parte apicale di tale dorsale, i sedimenti marini sono stati in parte erosi. Il substrato ed i depositi alluvionali sono parzialmente mascherati da una estesa coltre di copertura di origine eluvio-colluviale, tipicamente di natura limoso-sabbiosa e/o limoso-argillosa; la coltre superficiale presenta spessori variabili, che possono raggiungere valori di alcuni metri nelle zone a bassa acclività e di raccordo tra i versanti e la pianura.

L'area in esame è caratterizzata litologicamente, al di sotto di uno spessore di materiali alluvionali recenti di origine fluviale a granulometria sabbioso-limosa e argillosa, dalla presenza di depositi sabbioso limosi con clasti arrotondati, anch'essi di origine fluviale e appartenenti, secondo la cartografia redatta dall'Ispra (Progetto Carg) al "Sintema di Cairo Montenotte" (vedi carta geologica in allegato), risalente all'Olocene.

Le osservazioni compiute hanno evidenziato le discrete condizioni geomorfologiche del terreno in oggetto, non esistono infatti nell'area in esame, tracce di frane e smottamenti, le acque di corrivazione non hanno prodotto dissesti o altre forme di erosione, l'area non è stata interessata

inoltre da fenomeni di impaludamento recente (vedi stralcio PAI allegato).

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

L'area in esame ricade all'interno del Bacino Terziario Piemontese, esso è contraddistinto da una serie di complessi idrogeologici con differenti caratteristiche.

Dal basso verso l'alto si possono distinguere:

□ Complesso limoso argilloso: corrispondente alle ARGILLE DI LUGAGNANO, in generale impermeabili con locali livelli sabbiosi semipermeabili, che rappresentano la base del sovrastante Complesso sabbioso.

□ Complesso sabbioso: corrispondente ai depositi sabbiosi pliocenici (SABBIE DI ASTI), costituiti da alternanze di livelli sabbiosi permeabili, livelli sabbioso limosi e limoso sabbiosi semipermeabili e livelli limoso argillosi impermeabili; si tratta di un sistema acquifero multifalda, in cui i vari livelli acquiferi, con ridotta continuità laterale, possono essere intercomunicanti verticalmente.

□ Complesso delle alternanze (argille, ghiaie, sabbie): corrispondente alla parte superiore del VILAFRANCHIANO INFERIORE, al VILAFRANCHIANO SUPERIORE ed ai depositi fluviali del PLEISTOCENE MEDIO SUPERIORE, è costituito da un'alternanza di livelli limoso argillosi impermeabili o semipermeabili e livelli ghiaioso sabbiosi permeabili; si tratta di un sistema acquifero multifalda in cui i vari livelli acquiferi sono tra loro intercomunicanti.

□ Complesso dei depositi alluvionali: con permeabilità e spessore variabili, sede di una falda libera in equilibrio con il reticolo idrografico.

Nel dettaglio l'area in oggetto interessa il sistema acquifero ospitato nei terreni appartenenti al Complesso delle alternanze. La permeabilità primaria, visti i litotipi presenti, è da considerarsi medio-bassa per i livelli argilloso limosi superficiali, medio-alta per i depositi sabbioso-limosi con clasti sottostanti. La falda idrica principale è da considerarsi superficiale (in genere variabile dai -3m ai -6m, fonte ARPA Piemonte) e correlabile a quella del Fiume Bormida, il quale scorre ad una distanza di circa 2.2 Km in direzione est. Secondo la Carta delle Aree Inondabili, (redatta da ARPA Piemonte e consultabile al seguente indirizzo web <http://webgis.arpa.piemonte.it/geoportale/>), nella quale sono individuate le aree nelle quali si verificano eventi di piena con tempi di ritorno significativi (vedi cartografia allegata), l'area in esame non ricade in un'area a rischio esondazione.

CARATTERISTICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Allo scopo di ricostruire l'andamento stratigrafico del sito e di valutare le caratteristiche geotecniche e sismiche locali del terreno, sono state pertanto eseguite le seguenti indagini:

- un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- acquisizione dati tratti da studi effettuati in aree limitrofe, da materiale bibliografico e dalla consultazione di materiale cartografico redatto dalla Regione Piemonte, Arpa Piemonte e ISPRA-Progetto CARG, Servizio Geologico d'Italia;
- n°2 prove penetrometriche dinamiche continue eseguite tramite l'utilizzo dello strumento di tipo medio (DL-30);
- n°1 prova di rumore (HVSR) eseguita tramite tromografo digitale "*Tromino*" ed elaborazione dati mediante il software "*Grilla*", forniti entrambe della Società Micromed spa;
- n°1 MASW eseguita mediante sismografo "Sysmatrack" multicanale (12 canali) fornito dalla Società "MAE advanced geophysics instruments";
- misurazioni con strumenti portatili sugli affioramenti presenti.

Dall'interpretazione dei dati acquisiti è stata desunta la seguente ricostruzione stratigrafica minima:

DPM N°1

dal P.C. a -0.4 m = COLTRE SUPERFICIALE ALTERATA

da -0.4 m a - 4.4 m = ALLUVIONI FLUVIALI RECENTI A
GRANULOMETRIA LIMOSA DA POCO ADDENSATE
A MEDIAMENTE ADDENSATE

da -4.4 m a - 30.0 m = DEPOSITI SABBIOSO GHIAIOSI ADDENSATI DI
ORIGINE FLUVIALE (CMT3)

DPM N°2

dal P.C. a -0.4 m = COLTRE SUPERFICIALE ALTERATA

da -0.4 m a - 4.4 m = ALLUVIONI FLUVIALI RECENTI A
GRANULOMETRIA LIMOSA DA POCO ADDENSATE
A MEDIAMENTE ADDENSATE

oltre -4.4 m = DEPOSITI SABBIOSO GHIAIOSI ADDENSATI DI ORIGINE
FLUVIALE (CMT3)

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche, l'acquisizione dati da prove di laboratorio effettuate su analoghi litotipi, hanno permesso di determinare la seguente tabella dei parametri minimi dei litotipi rinvenuti:

LITOTIPI	Peso di volume γ (t/m ³)	Angolo di attrito ϕ (°)	Coesione drenata C (t/m ²)
ALLUVIONI FLUVIALI RECENTI A GRANULOMETRIA LIMOSA DA POCO ADDENSATE A MEDIAMENTE ADDENSATE	1.75	26	1.5
DEPOSITI SABBIOSO GHIAIOSI ADDENSATI DI ORIGINE FLUVIALE (CMT3)	1.85	29	1.0

Nel rispetto del § 7.11.3.4.2 delle N.T.C./18, va precisato che è possibile escludere la verifica a liquefazione in quanto le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) sono minori di 0.1g, ed esattamente pari a 0.038g, 0.027 g e 0.07 g a seconda della sorgente sismogenetica considerata (Fig.1 e Fig.2).

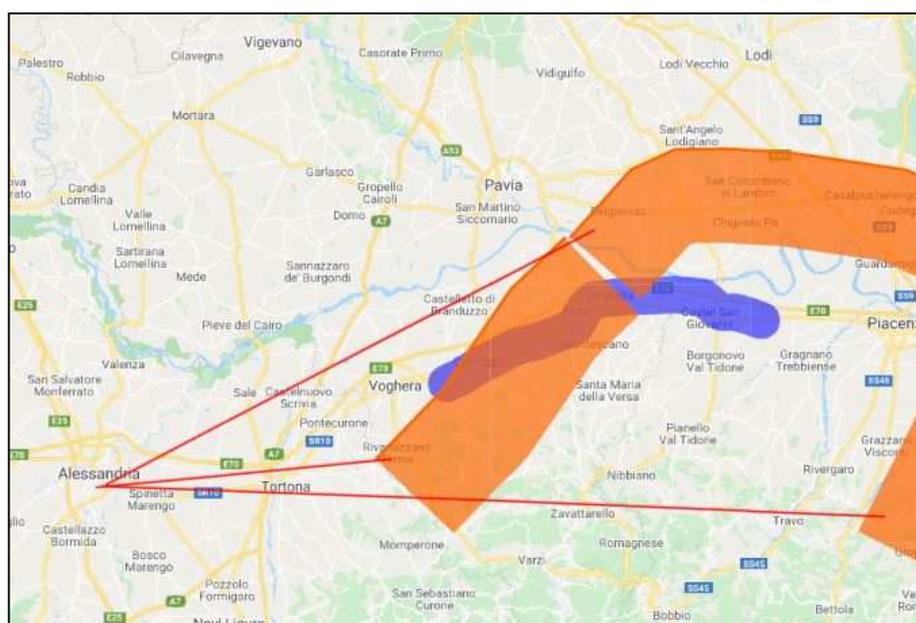


Fig.1

Sorgente sismogenetica	Lat. (°)	Long. (°)	Lat. (°)	Long. (°)
ITCS018: Rivanazzan	44.894011	8.607611	44.921048	9.005763
ITCS045: San Giorgic	44.894499	8.616841	44.865306	9.672902
ITCS044: Portalbera-	44.896445	8.620961	45.141072	9.280141

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)	Acc.ne al suolo (g)
31.5	5.5	0.07
83.27	5.5	0.027
58.52	5.5	0.038

Fig.2

CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Coordinate WGS84 del sito Lat. 44.891613° - Long. 8.607002°

Ai sensi dell'O.P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 e succ. modifiche (aggiornamento 15/01/2005) e dell'O.P.C.M. n°3519 del 20/04/2006, il numero di zone sismiche è fissato pari a 4, corrispondenti ai 4 valori di accelerazione orizzontale (ag / g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. Il Comune di Alessandria ricade in zona sismica 3 (bassa sismicità), cui corrisponde un'accelerazione sismica orizzontale $0,05 < g < 0,15$, con probabilità di superamento non maggiore del 10% in 50 anni, che si traduce in un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0,15 (ag / g).

ANALISI SISMICA TRAMITE MICROTREMORI

Il rumore sismico è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali. Il rumore sismico viene prodotto principalmente dal vento e dalle onde del mare. Anche le industrie e il traffico veicolare producono localmente rumore sismico ma, in genere, solo a frequenze relativamente alte, superiori ad alcuni Hz, che vengono attenuate piuttosto rapidamente.

A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono gli effetti locali, dovuti a sorgenti antropiche e/o naturali.

Il rumore di fondo agisce da funzione di eccitazione per le risonanze specifiche sia degli edifici che del sottosuolo, un po' come una luce bianca che illumina gli oggetti, eccitando le lunghezze d'onda del loro stesso colore. Ad esempio, se ci si trova all'interno di un edificio con frequenze di risonanza a 6 e 100 Hz, il rumore di fondo ecciterà queste frequenze, rendendole chiaramente visibili nello spettro di rumore. Allo stesso modo compariranno anche le frequenze di risonanza del sottosuolo. Ad esempio, se il sottosuolo su cui lo strumento è posto ha una stratificazione con frequenze proprie a 0.8 Hz e 20 Hz, queste frequenze appariranno nello spettro come picchi facilmente individuabili rispetto alla traccia di sottofondo.

Durante un terremoto che si può assimilare ad una traccia di rumore con ampiezze sino a 10^{10} volte maggiori del rumore di fondo, se la frequenza di risonanza del suolo e quella dell'edificio che si trova su di esso sono uguali, viene indotta un'oscillazione risonante accoppiata, detta *amplificazione sismica*, che accresce enormemente le sollecitazioni sull'edificio.

L'amplificazione sismica è la prima causa dei danni agli edifici durante un terremoto, molto più della grandezza stessa del terremoto. Un esempio notevole di amplificazione sismica si è avuto in anni recenti, il 19 settembre 1985, quando un terremoto "medio" ($M=6.6$) colpì il Messico Centrale producendo danni modesti vicino all'epicentro, ma provocando il crollo di 400 palazzi a Città del Messico, distante 240 km dall'epicentro. Analisi successive hanno mostrato come Città del Messico sia costruita su di un bacino sedimentario la cui frequenza, circa 1 Hz, è identica a quella dei palazzi di 10 piani che risultarono essere i più danneggiati

dal terremoto. Allo stesso modo, il terremoto calabro-messinese del 28 dicembre 1908 (M=7.2) distrusse il 95% delle case di Messina ma lasciò praticamente intatte tutte quelle costruite su roccia e quindi non soggette a amplificazione sismica.

La tecnica qui applicata e detta HVSR (Horizontal/Vertical Spectral Ratio) con registrazione su singola stazione. Alla curva sperimentale HVSR (rossa, in Fig. 1, riferita ad un caso generico) viene sovrapposta una curva teorica (blu) usando il vincolo geologico-stratigrafico ottenuto per via indipendente dalle indagini di campagna sullo strato più superficiale.

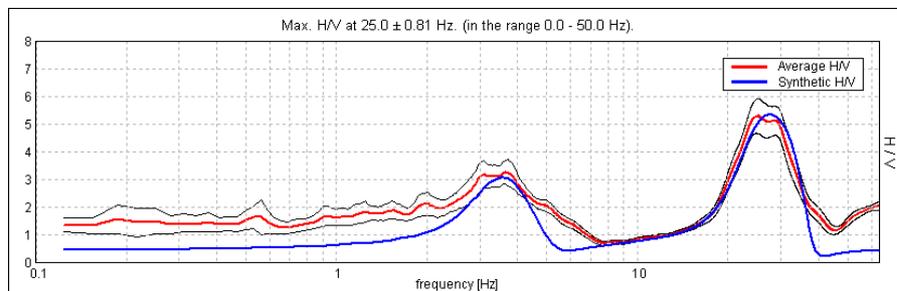


Figura 1

I picchi evidenziati corrispondono ad orizzonti stratigrafici dotati di una particolare frequenza di risonanza (espressa in Hertz) e caratterizzati da differenze di impedenza sismica, direttamente correlabili alla velocità di propagazione delle onde sismiche, tanto più evidenti quanto maggiore è il contrasto di impedenza/velocità.

La procedura dunque comprende:

- ❖ Identificazione diretta di uno strato superficiale (posto solitamente entro i primi metri dal p.c.);
- ❖ Identificazione del picco ad esso riferito sulla curva sperimentale;
- ❖ Costruzione del *best fit* della curva teorica su quella sperimentale, usando i vincoli dei punti precedenti (Figura 2);

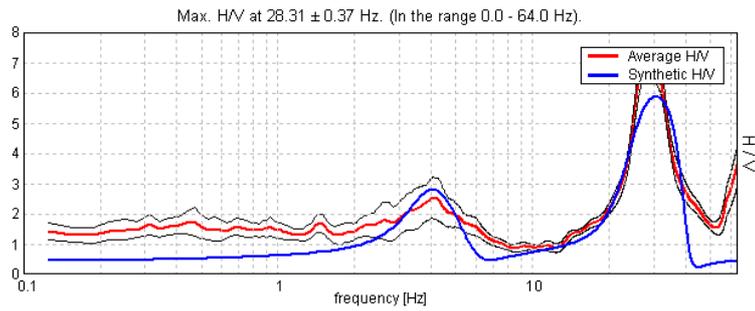


Figura 2

- ❖ Costruzione di una sequenza sismica monodimensionale fondata sulle Vs, i cui orizzonti stratigrafici corrispondono ai picchi della sovrapposizione curva sperimentale vs. curva teorica, come nella figura che segue (Figura 3), anch'essa riferita ad un caso generico.

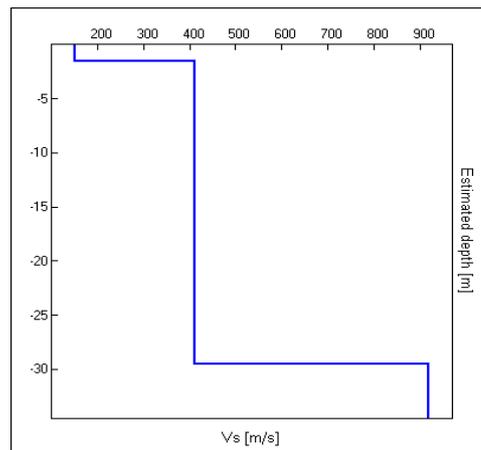


Figura 3

L'acquisizione dei dati di campagna viene effettuata mediante tromografo digitale *Tromino* della Micromed spa, mentre l'elaborazione dei dati si serve del software Grilla fornito dalla stessa ditta.

Nei grafici in allegato sono inoltre rappresentati:

- Diagramma rappresentativo della stabilità del rapporto H/V, durante la registrazione, indice della pulizia della traccia acquisita (Figura 4);

H/V TIME HISTORY

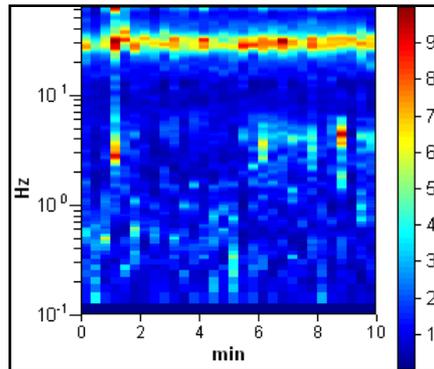


Figura 4

➤ Diagramma delle singole componenti spettrali, misurate dal tromografo (Figura 5).

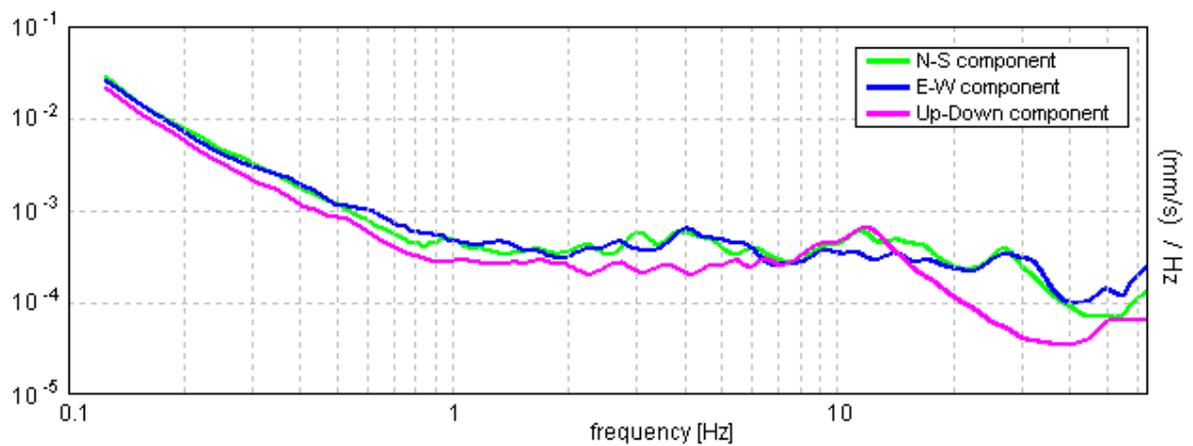


Figura 5

ANALISI SISMICA TRAMITE MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della misura delle onde superficiali, eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiando con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e di velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi. Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10Hz e 70-100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 metri, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente. I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori ai 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in tre fasi:

- 1) calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento, energizzando alternativamente ai due estremi dello stendimento;
- 2) calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo Roma (2001);
- 3) calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo Lai-Rix (1998);
- 4) individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_{sv} , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_{sv} e di compressione V_p (o in alternativa il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al

modello di suolo assegnato; l'affidabilità del profilo di velocità V_s trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software “*Grilla*” fornito dalla Società Micromed S.p.A.

Pertanto, sulla base dei dati pervenuti e dall'acquisizione dei dati stratigrafici tratti da altre indagini geognostiche (prove penetrometriche dinamiche), effettuate in siti limitrofi e da cui è stato possibile delineare anche la stratigrafia del sito in oggetto fino alla profondità di oltre 30,0 m, si è tarata l'elaborazione dell'indagine effettuata, ottenendo valori delle velocità di V_{seq} **di 312 m/s (MASW) e di 320 m/s (HVSr)**

Ai sensi del D.M. 17.01.2018 (“Norme Tecniche per le Costruzioni”, Tab. 3.2.II), per la progettazione di manufatti soggetti ad azioni sismiche, il terreno in esame può essere riferito alla **Categoria di Suolo di Fondazione C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s.**

Non si individuano nel sito condizioni specifiche tali da costituire fonte di amplificazione locale dell'onda sismica, quali presenza di faglie attive, linee di cresta morfologica particolarmente marcate, contatti stratigrafici tra terreni a forte contrasto di risposta sismica, presenza di coltri detritiche lungo il versante, vicinanza a scarpate soggette a fenomeni di crollo e/o rotolamento di blocchi.

CONCLUSIONI

L'area interessata dall'opera è globalmente stabile e ricade in zona già nota. Considerando sia le caratteristiche geomorfologiche e litologiche del terreno descritto, che le sue condizioni topografiche, non si ravvisano difficoltà di ordine geologico alla realizzazione di quanto progettato a condizione che:

- si attui un'adeguata regimazione delle acque superficiali;
- le operazioni di scavo, vista la natura dei materiali presenti, dovranno essere eseguite sotto la presenza dello scrivente e se ritenuto necessario dovranno essere effettuate indagini specifiche ad integrazione della presente.

Roma, Novembre 2021

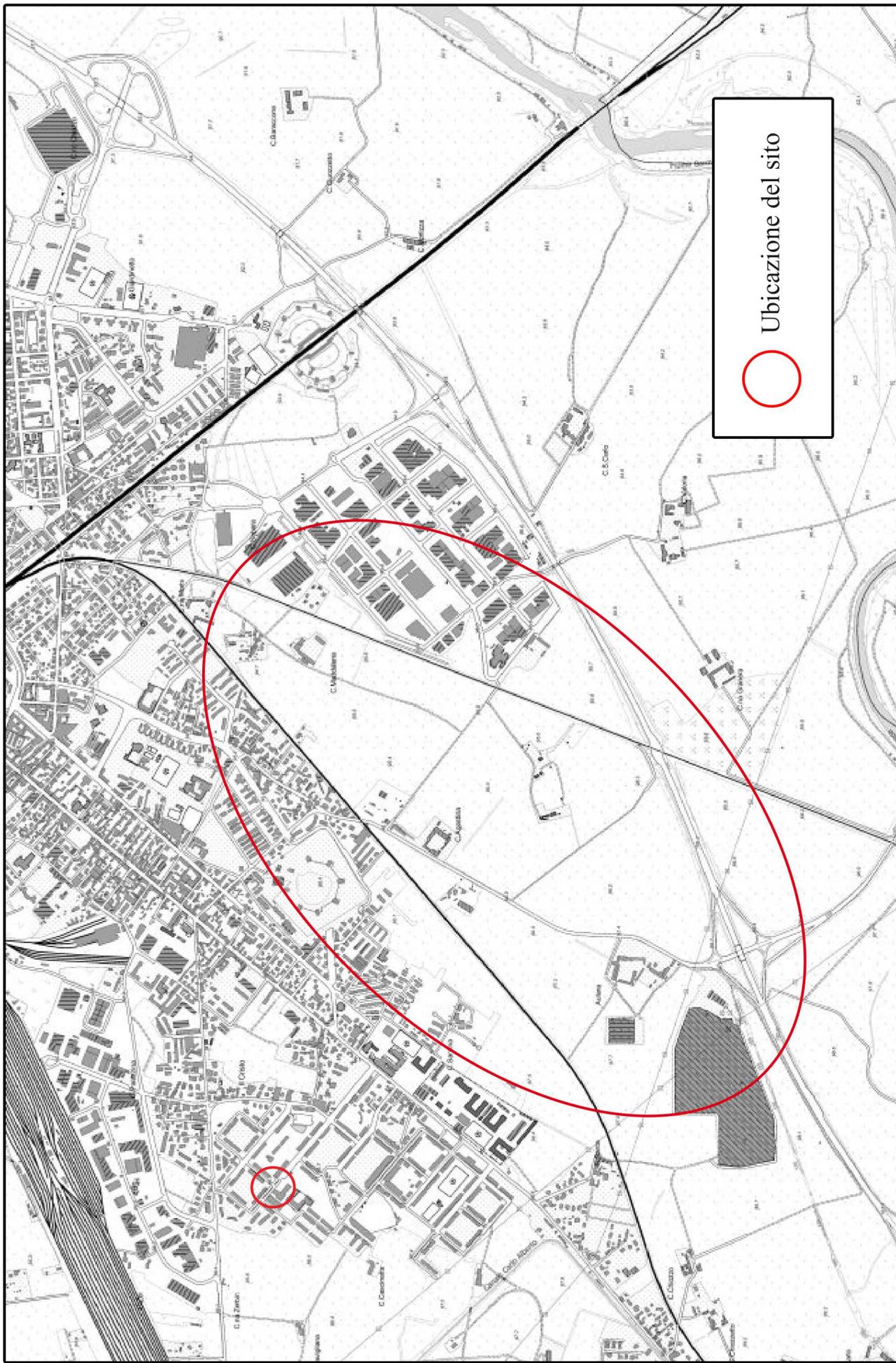
Dott. Geol. David Simoncelli

E' riservata la proprietà di questo elaborato che potrà essere riprodotto, anche in parte, solo dopo autorizzazione scritta

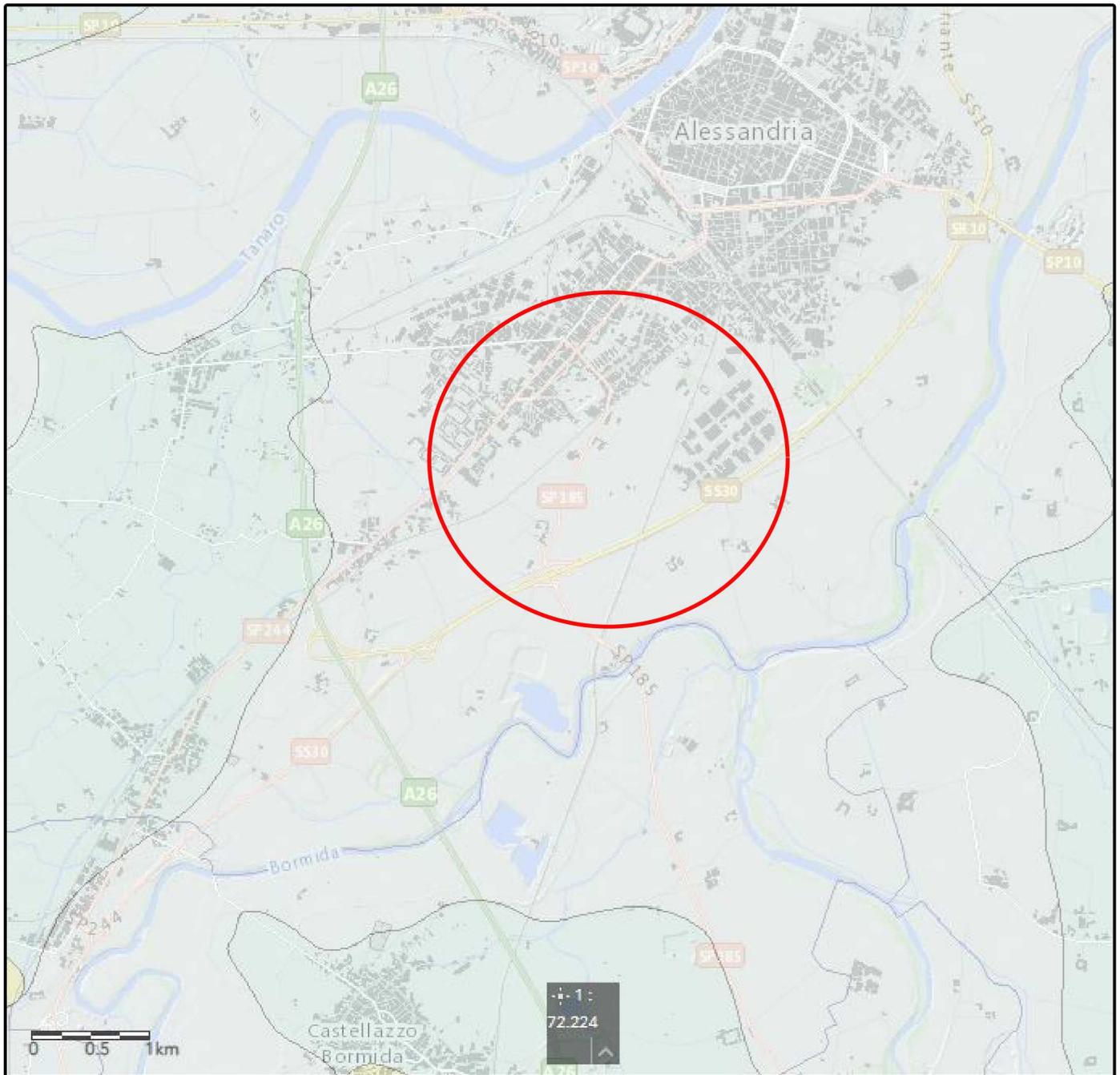


COROGRAFIA GENERALE

Scala 1:20000



CARTA GEOLOGICA



Bacino del T. Belbo, del F. Bormida e del T. Orba

SINTEMA DI CAIRO MONTENOTTE

Subsistema di Rocchetta Cairo

Depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi a supporto di clasti, localmente a supporto di matrice, debolmente o per nulla alterati (2.5Y 6/3-4/3). Clasti di taglia centimetrico-decimetrica, da subarrotondati a ben arrotondati. Talora sono presenti blocchi di dimensioni pluridecimetriche. Sono coperti da estese coltri di esondazione fluviale di spessore metrico (1-4 m), costituite da sabbie a laminazione piano-parallela o ondulata e da silt e sabbie siltose massive con rari ciottoli. All'interno delle coltri di esondazione sono presenti lenti ghiaiose a supporto di clasti e di matrice di spessore decimetrico con ciottoli centimetrici (<10 cm). Si distribuiscono lungo gli attuali fondovalli oppure formano superfici terrazzate sospese a non più di 8 m dai principali corsi d'acqua attuali e localmente dai corsi d'acqua tributari. La potenza massima dei depositi è valutabile in circa 25 m. Silt, silt sabbiosi e sabbie siltose con clasti eterometrici poco o per nulla alterati, di potenza ridotta, costituenti i fondovalli dei corsi d'acqua tributari (CMT₃).
OLOCENE - ATTUALE



CMT₃

Carta Aree inondabili (redatta da ARPA Piemonte)



Tempi di ritorno (0)

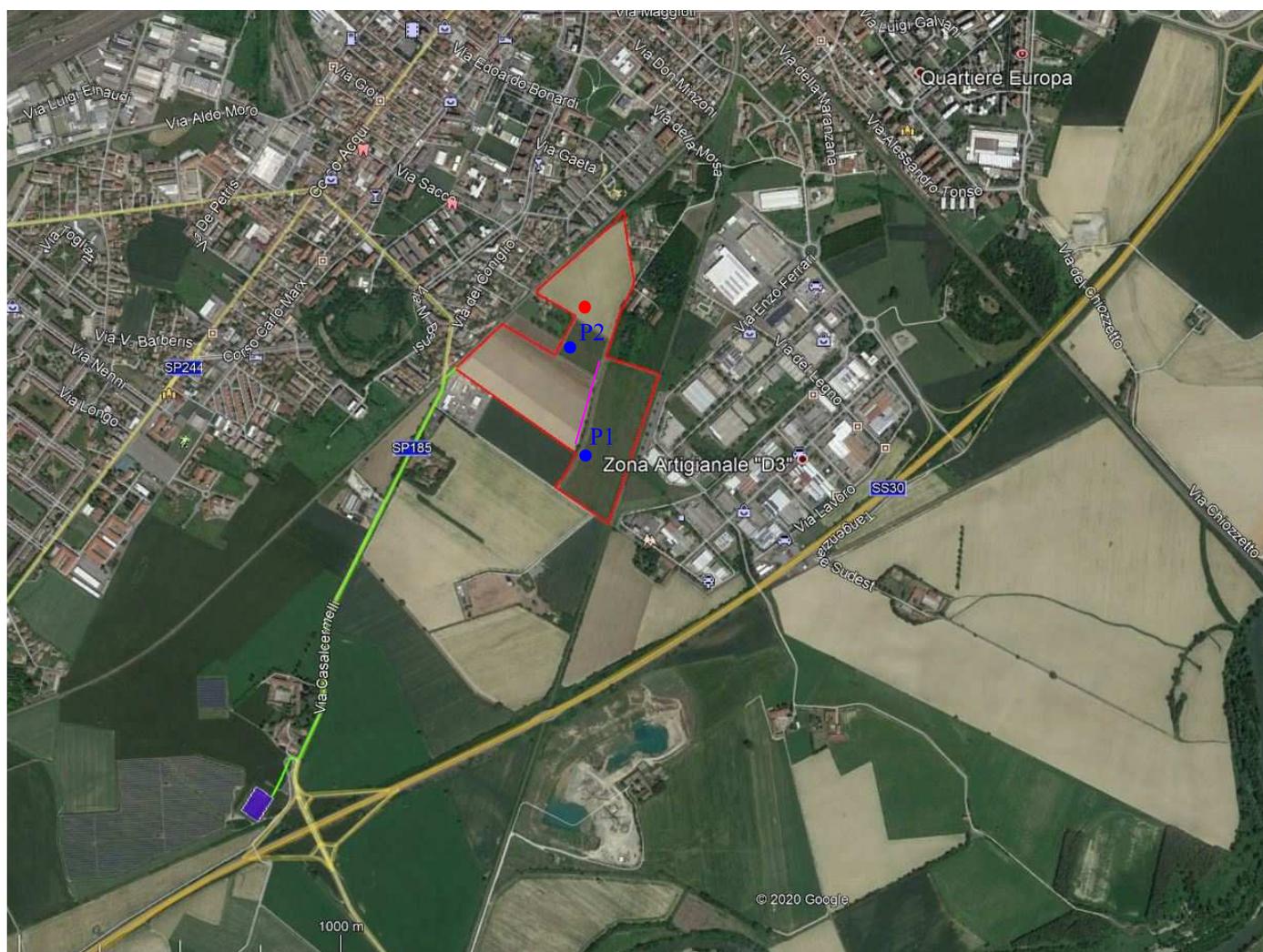
- ▨ Eventi di piena con tempi di ritorno compresi tra 25 e 50 anni
- Eventi di piena con tempi di ritorno compresi tra 3 e 5 anni
- ▨ Eventi di piena con tempi di ritorno generalmente superiori a 50 anni. Tale situazione può essere modificata in futuro da fenomeni di ripascimento.

Tipo di deposito (1)

- Materiale prevalentemente ghiaioso-sabbioso
- Materiale prevalentemente sabbioso
- Materiale limoso
- Dato storico - non determinabile

○ Ubicazione del sito

Planimetria ubicativa generale



- Prove DPM
- Prove HVSR
- MASW

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Località: Comune di Alessandria, Via Casalcermeli, località Maddalena

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPM (DL030 10) (Medium)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	18 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,757
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °



PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...
 Prova eseguita in data
 Profondità prova
 Falda non rilevata

DL-30 (90°)
 28/05/2020
 5,70 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,10	8	0,857	2,37	2,77	118,59	138,45
0,20	9	0,855	2,66	3,12	133,11	155,75
0,30	12	0,853	3,54	4,15	177,08	207,67
0,40	13	0,801	3,60	4,50	180,15	224,98
0,50	9	0,849	2,64	3,12	132,21	155,75
0,60	8	0,847	2,35	2,77	117,27	138,45
0,70	8	0,845	2,34	2,77	117,01	138,45
0,80	7	0,843	2,04	2,42	102,16	121,14
0,90	10	0,842	2,75	3,27	137,54	163,44
1,00	9	0,840	2,47	2,94	123,53	147,10
1,10	8	0,838	2,19	2,62	109,57	130,76
1,20	8	0,836	2,19	2,62	109,35	130,76
1,30	8	0,835	2,18	2,62	109,12	130,76
1,40	8	0,833	2,18	2,62	108,90	130,76
1,50	7	0,831	1,90	2,29	95,10	114,41
1,60	6	0,830	1,63	1,96	81,35	98,07
1,70	7	0,828	1,89	2,29	94,72	114,41
1,80	5	0,826	1,35	1,63	67,53	81,72
1,90	5	0,825	1,28	1,55	63,85	77,42
2,00	5	0,823	1,27	1,55	63,73	77,42
2,10	4	0,822	1,02	1,24	50,89	61,94
2,20	6	0,820	1,52	1,86	76,19	92,91
2,30	6	0,819	1,52	1,86	76,05	92,91
2,40	7	0,817	1,77	2,17	88,57	108,39
2,50	9	0,816	2,27	2,79	113,67	139,36
2,60	9	0,814	2,27	2,79	113,47	139,36
2,70	10	0,813	2,52	3,10	125,86	154,84
2,80	10	0,811	2,51	3,10	125,64	154,84
2,90	10	0,810	2,38	2,94	119,16	147,10
3,00	8	0,809	1,90	2,35	95,16	117,68
3,10	9	0,807	2,14	2,65	106,88	132,39
3,20	8	0,806	1,90	2,35	94,85	117,68
3,30	10	0,805	2,37	2,94	118,37	147,10
3,40	9	0,803	2,13	2,65	106,36	132,39
3,50	10	0,802	2,36	2,94	117,99	147,10
3,60	10	0,801	2,36	2,94	117,81	147,10
3,70	10	0,800	2,35	2,94	117,63	147,10
3,80	11	0,798	2,58	3,24	129,19	161,81
3,90	11	0,797	2,46	3,08	122,85	154,10
4,00	12	0,796	2,68	3,36	133,82	168,11
4,10	12	0,795	2,67	3,36	133,63	168,11
4,20	12	0,794	2,67	3,36	133,43	168,11
4,30	12	0,793	2,66	3,36	133,24	168,11
4,40	11	0,791	2,44	3,08	121,96	154,10
4,50	13	0,740	2,70	3,64	134,83	182,12
4,60	12	0,789	2,65	3,36	132,68	168,11

4,70	12	0,788	2,65	3,36	132,50	168,11
4,80	14	0,737	2,89	3,92	144,57	196,13
4,90	12	0,786	2,52	3,21	126,14	160,47
5,00	13	0,735	2,56	3,48	127,78	173,85
5,10	18	0,734	3,53	4,81	176,68	240,71
5,20	16	0,733	3,14	4,28	156,84	213,96
5,30	20	0,732	3,92	5,35	195,78	267,45
5,40	18	0,731	3,52	4,81	175,97	240,71
5,50	19	0,730	3,71	5,08	185,50	254,08
5,60	28	0,679	5,09	7,49	254,29	374,44
5,70	50	0,578	7,73	13,37	386,60	668,64

Classificazione AGI

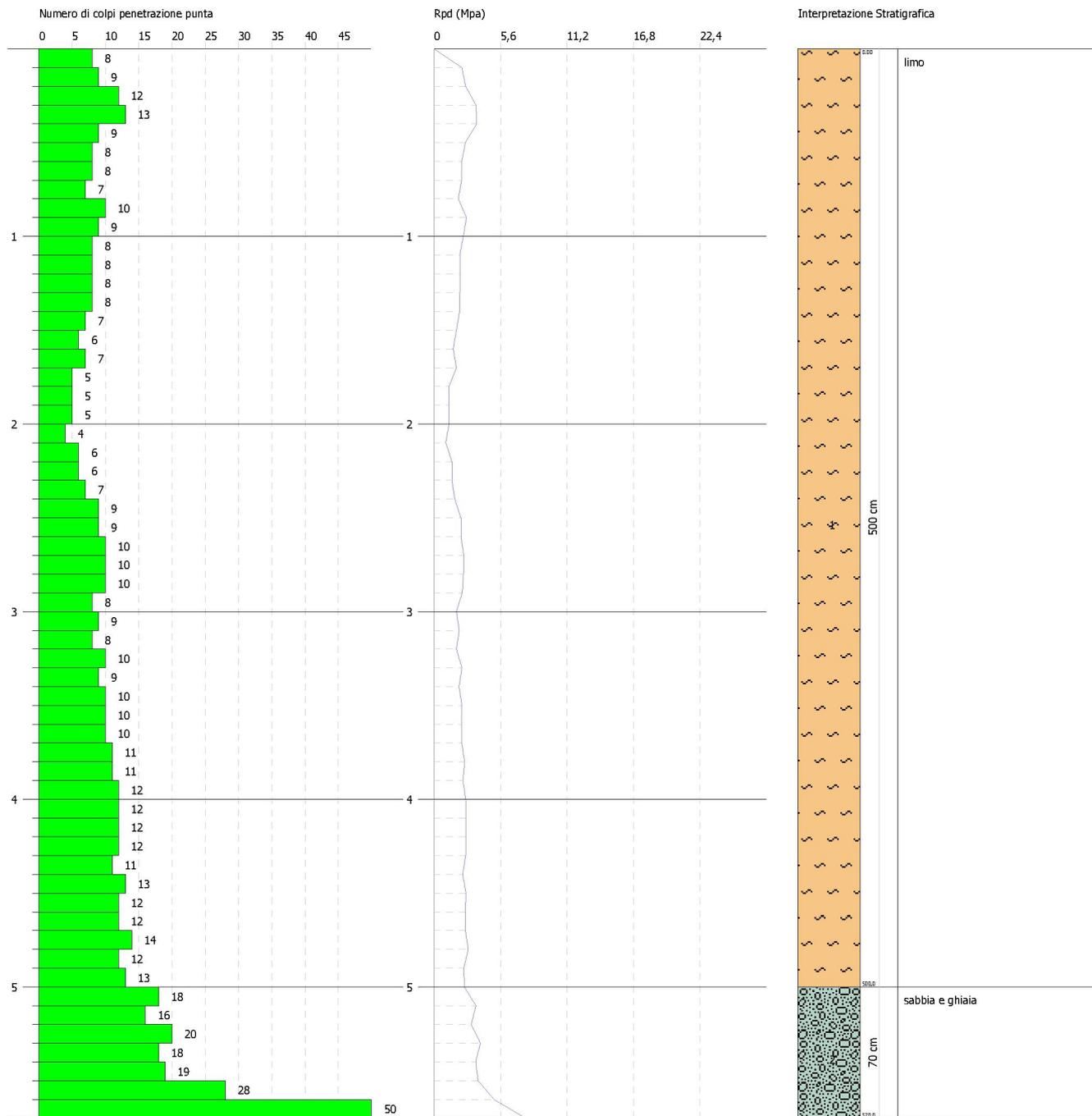
Descrizione	Tipo	NSPT (medio)	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) limo	Incoerente - coesivo	7,03	0.00-5,00	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO- MODERAT. CONSISTENTE
Strato (2) sabbia e ghiaia	Incoerente	18,37	5,00-5,70	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DL-30 (90°)

Committente: G.EDI.S Srl
 Descrizione: Realizzazione impianto fotovoltaico
 Località: Comune di Alessandria, Via Casalcermelli, località Maddalena

Data: 28/05/2020

Scala 1:33



PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DL-30 (90°)
 Prova eseguita in data 28/05/2020
 Profondità prova 5,90 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,10	10	0,857	2,96	3,46	148,24	173,06
0,20	10	0,855	2,96	3,46	147,90	173,06
0,30	9	0,853	2,66	3,12	132,81	155,75
0,40	10	0,851	2,94	3,46	147,23	173,06
0,50	8	0,849	2,35	2,77	117,52	138,45
0,60	6	0,847	1,76	2,08	87,95	103,84
0,70	7	0,845	2,05	2,42	102,38	121,14
0,80	8	0,843	2,34	2,77	116,76	138,45
0,90	7	0,842	1,93	2,29	96,28	114,41
1,00	7	0,840	1,92	2,29	96,08	114,41
1,10	6	0,838	1,64	1,96	82,18	98,07
1,20	7	0,836	1,91	2,29	95,68	114,41
1,30	8	0,835	2,18	2,62	109,12	130,76
1,40	7	0,833	1,91	2,29	95,29	114,41
1,50	7	0,831	1,90	2,29	95,10	114,41
1,60	6	0,830	1,63	1,96	81,35	98,07
1,70	7	0,828	1,89	2,29	94,72	114,41
1,80	9	0,826	2,43	2,94	121,55	147,10
1,90	8	0,825	2,04	2,48	102,16	123,87
2,00	10	0,823	2,55	3,10	127,46	154,84
2,10	14	0,772	3,35	4,34	167,28	216,78
2,20	13	0,770	3,10	4,03	155,02	201,29
2,30	12	0,819	3,04	3,72	152,11	185,81
2,40	10	0,817	2,53	3,10	126,53	154,84
2,50	11	0,816	2,78	3,41	138,93	170,33
2,60	10	0,814	2,52	3,10	126,08	154,84
2,70	12	0,813	3,02	3,72	151,03	185,81
2,80	12	0,811	3,02	3,72	150,77	185,81
2,90	11	0,810	2,62	3,24	131,07	161,81
3,00	9	0,809	2,14	2,65	107,06	132,39
3,10	8	0,807	1,90	2,35	95,01	117,68
3,20	7	0,806	1,66	2,06	82,99	102,97
3,30	10	0,805	2,37	2,94	118,37	147,10
3,40	12	0,803	2,84	3,53	141,82	176,52
3,50	13	0,752	2,88	3,82	143,83	191,23
3,60	12	0,801	2,83	3,53	141,37	176,52
3,70	12	0,800	2,82	3,53	141,15	176,52
3,80	12	0,798	2,82	3,53	140,94	176,52
3,90	9	0,797	2,01	2,52	100,52	126,09
4,00	11	0,796	2,45	3,08	122,67	154,10
4,10	12	0,795	2,67	3,36	133,63	168,11
4,20	14	0,744	2,92	3,92	145,86	196,13
4,30	13	0,743	2,70	3,64	135,24	182,12
4,40	13	0,741	2,70	3,64	135,03	182,12
4,50	20	0,740	4,15	5,60	207,43	280,19
4,60	20	0,739	4,14	5,60	207,13	280,19

4,70	19	0,738	3,93	5,32	196,48	266,18
4,80	23	0,687	4,43	6,44	221,40	322,22
4,90	23	0,686	4,22	6,15	211,01	307,57
5,00	29	0,685	5,31	7,76	265,66	387,81
5,10	27	0,684	4,94	7,22	246,97	361,06
5,20	34	0,633	5,76	9,09	287,81	454,67
5,30	31	0,632	5,24	8,29	262,00	414,55
5,40	29	0,681	5,28	7,76	264,11	387,81
5,50	25	0,680	4,55	6,69	227,36	334,32
5,60	22	0,679	4,00	5,88	199,80	294,20
5,70	41	0,578	6,34	10,97	317,02	548,28
5,80	48	0,577	7,41	12,84	370,55	641,89
5,90	50	0,576	7,37	12,79	368,63	639,56

Classificazione AGI

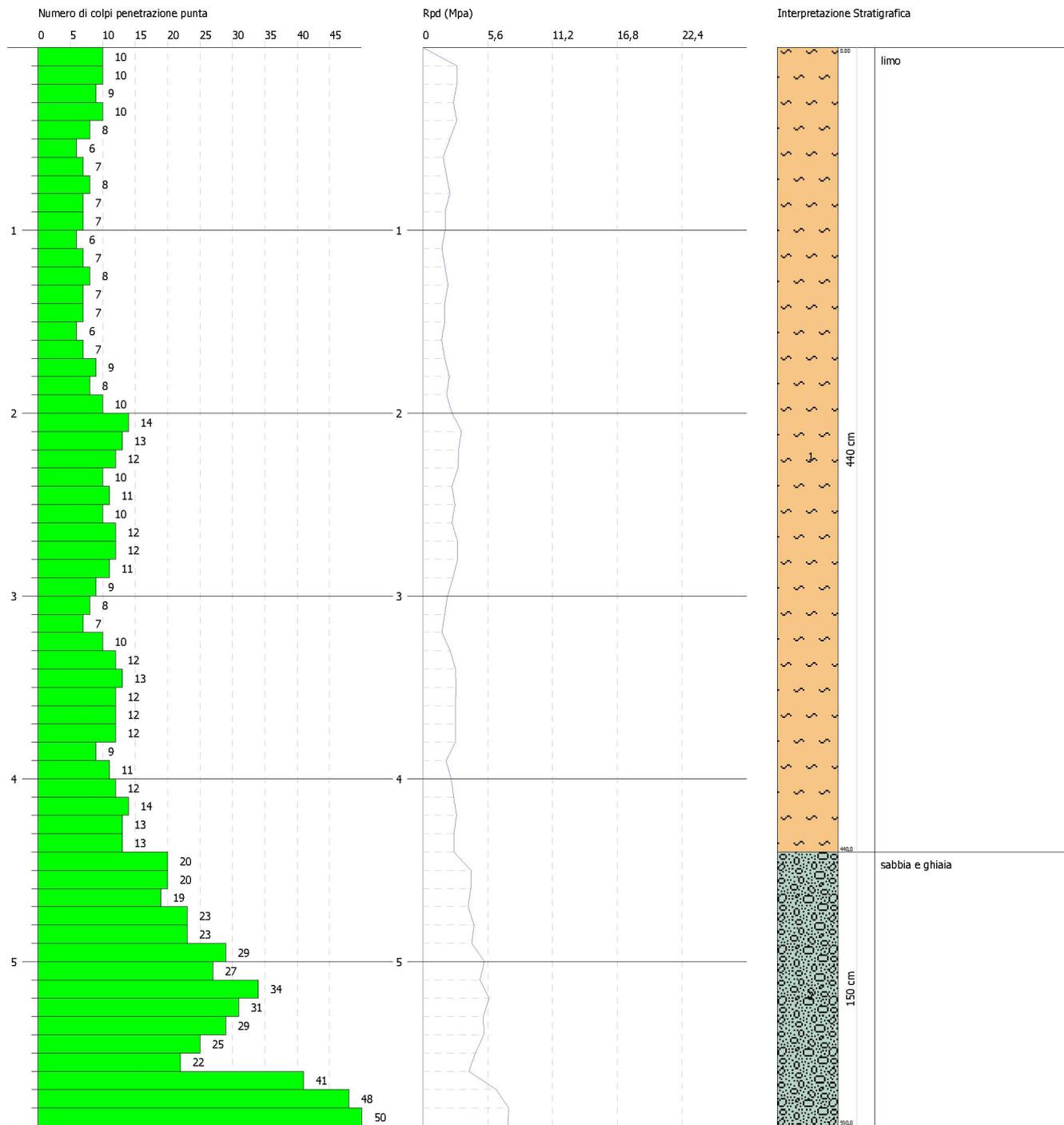
Descrizione	Tipo	NSPT (medio)	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) limo	Incoerente - coesivo	7,38	0,00-4,40	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO- MODERAT. CONSISTENTE
Strato (2) sabbia e ghiaia	Incoerente	22,26	4,40-5,90	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DL-30 (90°)

Committente: G.EDI.S Srl
 Descrizione: Realizzazione impianto fotovoltaico
 Località: Comune di Alessandria, Via Casalcermelli, località Maddalena

Data: 28/05/2020

Scala 1:33





Legenda

Sistema di riferimento WGS84-UTM32



Area di intervento



Prove penetrometriche dinamiche continue DM30

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto n.1: Prova penetrometrica dinamica n.1.



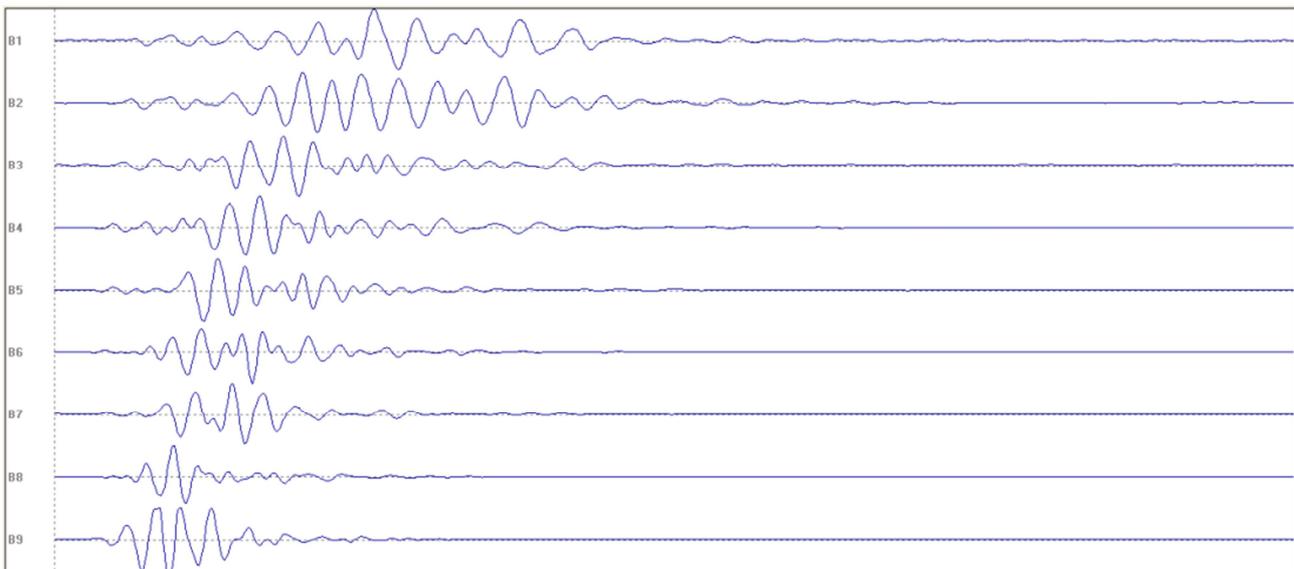
Foto n.2: Prova penetrometrica dinamica n.2.

REPORT MASW

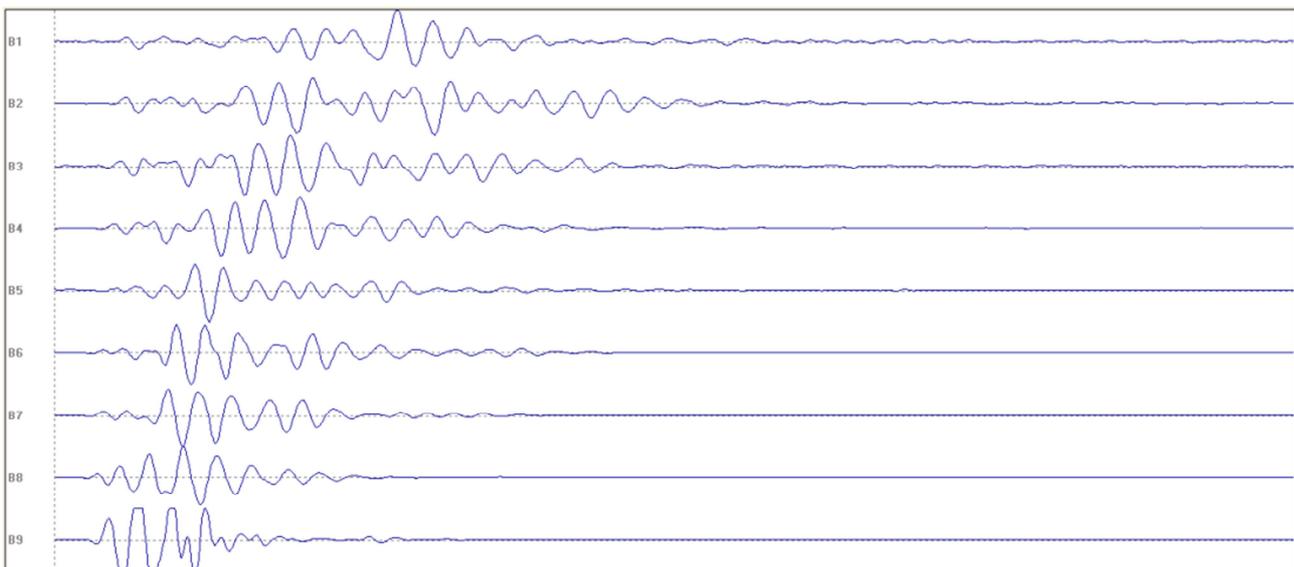
Comune di Alessandria – Loc. Casalcermelli

Start recording 29/05/20 11:02:10 End recording: 29/05/20 11:08:19
Trace length: 0h06'09".
Sampling rate: 1024 Hz
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 m.

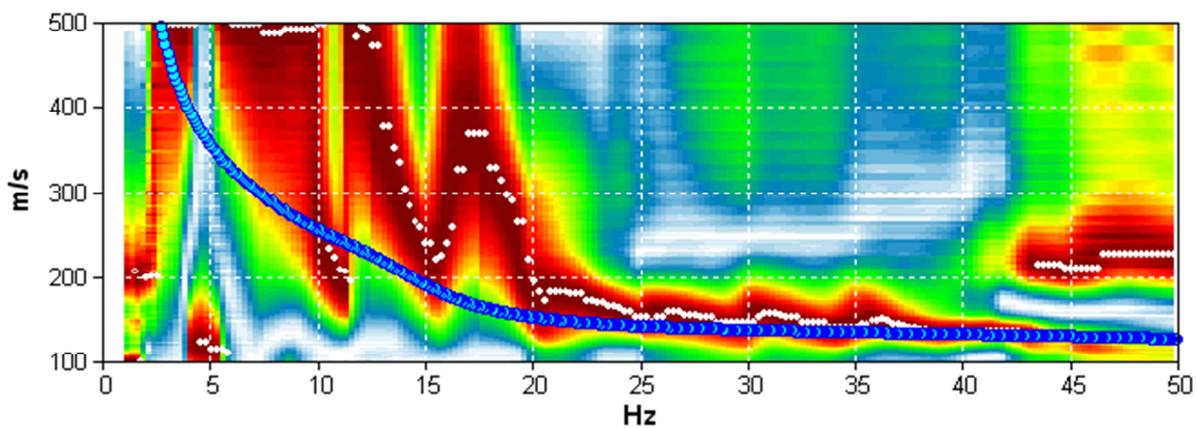
COMMON SHOT GATER PER LE ONDE DI RAYLEIGH



COMMON SHOT GATER PER LE ONDE DI LOVE



VELOCITY SPECTRUM & DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.40	0.40	110	0.42
4.50	4.10	210	0.41
44.50	40.00	350	0.40
inf.	inf.	690	0.39

Vs(0.0-30.0)=312m/s

REPORT HVSR

Comune di Alessandria – Loc. Casalcermelli

Instrument: TEP-0032/01-09

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 29/05/20 10:30:14 End recording: 29/05/20 10:42:14

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

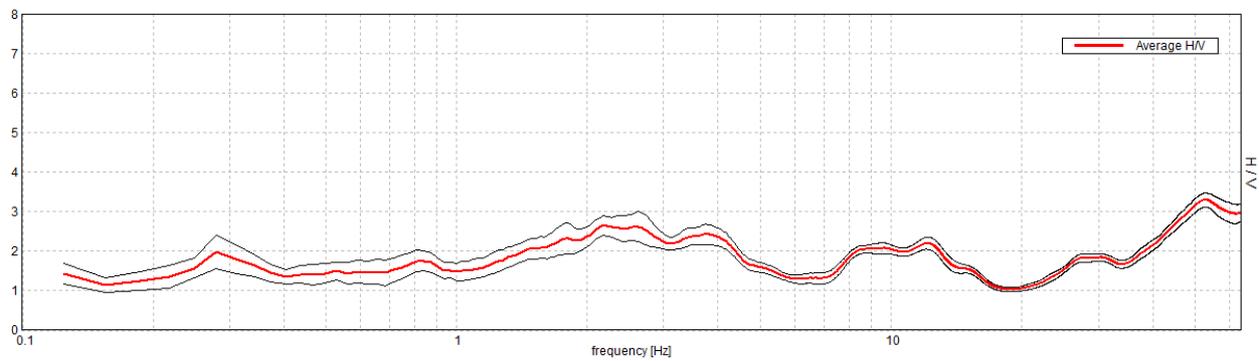
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

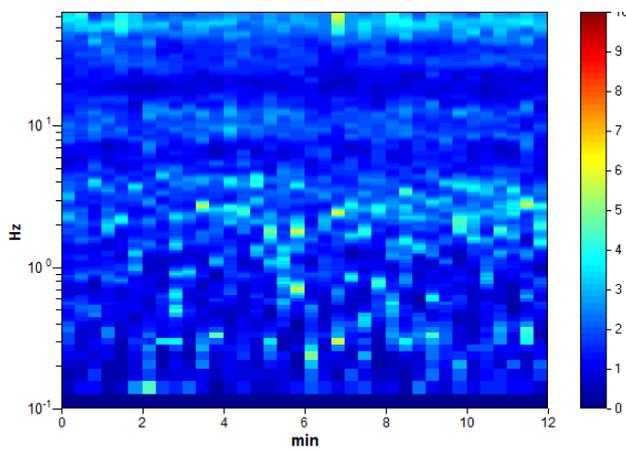
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

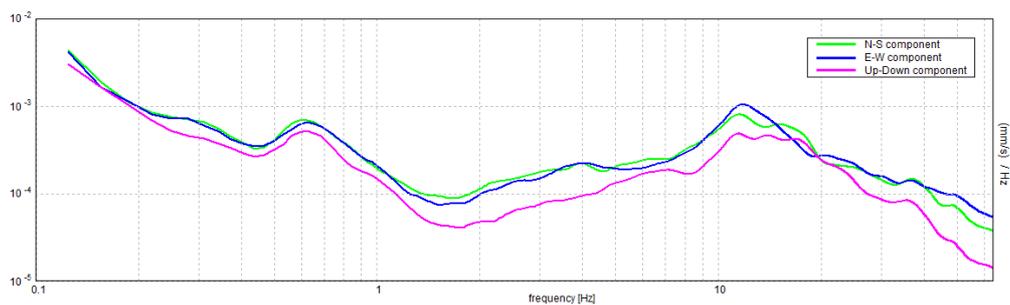
Max. H/V at 52.81 ± 1.75 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



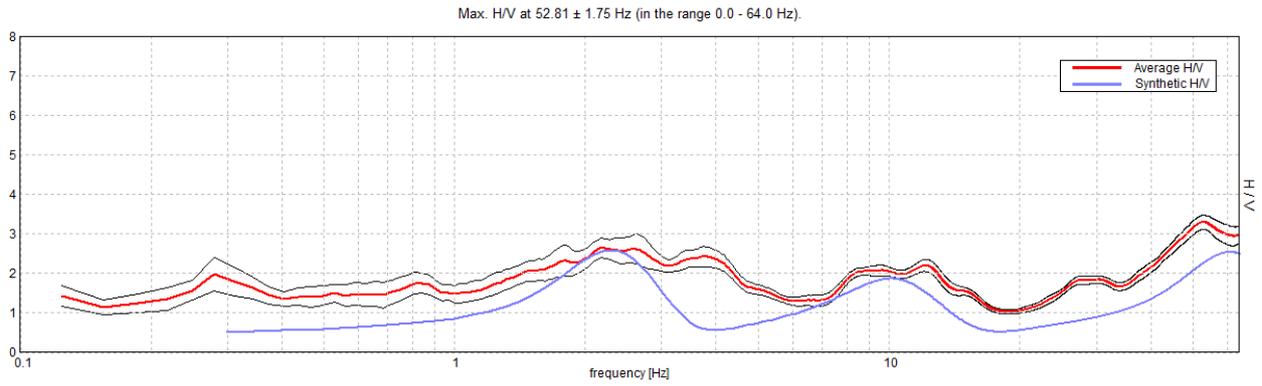
H/V TIME HISTORY



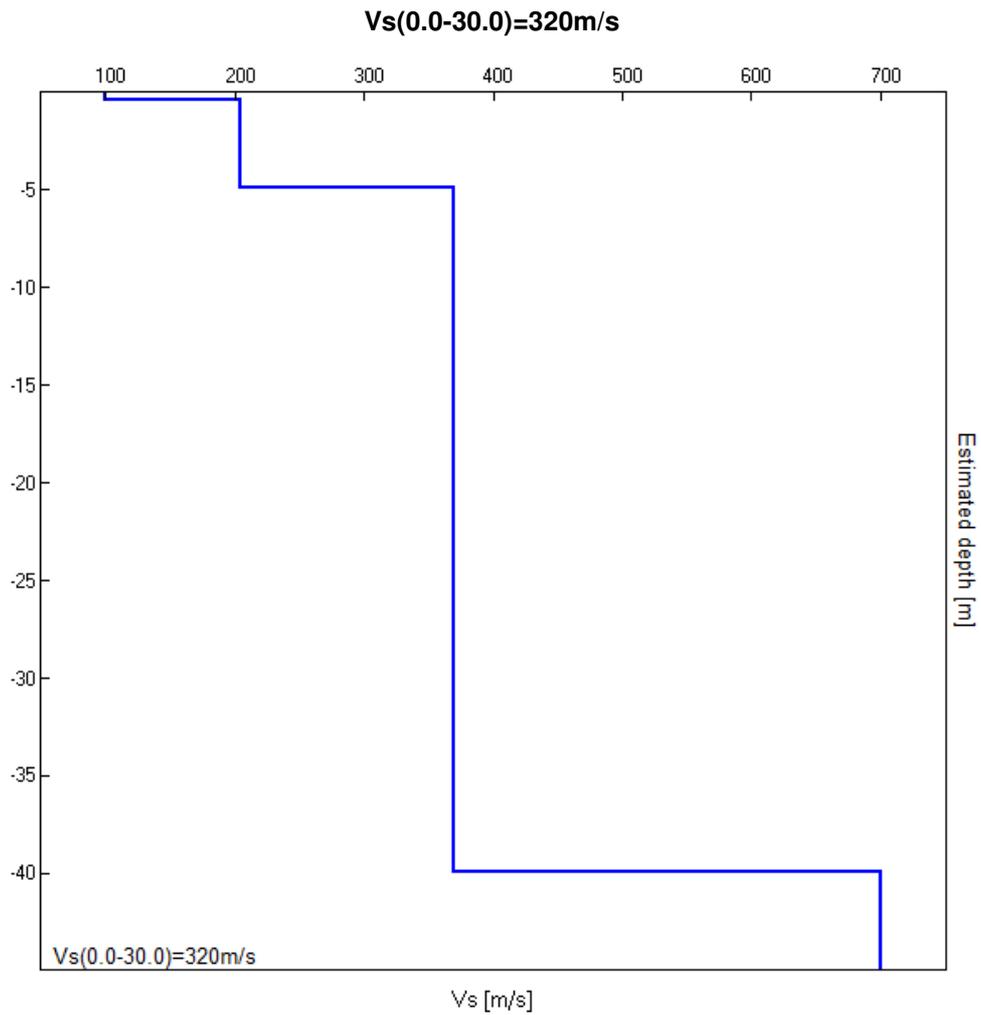
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.40	0.40	100	0.42
4.90	4.50	205	0.41
39.90	35.00	370	0.40
inf.	inf.	700	0.39



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 52.81 ± 1.75 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

$f_0 > 10 / L_w$	52.81 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	38025.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1204 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	25.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.30 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03316 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.75121 < 2.64063	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1761 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20