

REGIONE EMILIA ROMAGNA

PROVINCIA DI RAVENNA

COMUNE DI CERVIA

PROGETTO DI REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 51 MW E OPERE CONNESSE,
DENOMINATO "CERVIA PV" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI CERVIA RA

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA E SISMICA
C5008.S.R03

COMMITTENTE: FRV ITALIA S.R.L.
VIA RUBICONE, 11 - 00198 ROMA – P.IVA 10413450015

per presa visione

PROGETTAZIONE:
GEA.SISTE INGEGNERIA
VIA PASUBIO 2/28 PINEROLO TO – P.IVA 07510230019

per presa visione

rif. M25B_2

Il Tecnico Incaricato
Dott. Geol. Marco Orsi
Dottore di Ricerca in Scienze Ambientali
Ordine dei Geologi del Piemonte n.287
via Nizza 7 - 15011 Acqui Terme (AL)
tel.: 0144-321225 fax 0144-980163
cell:348-5835102 E-mail: studio@geolorsi.it
pec geolorsi@pec.it



Acqui Terme, aprile 2026

Premessa

Lo Scrivente è stato incaricato dalla ditta FRV Italia Srl via Rubicone 11 - 00198 Roma – p.iva 10413450015 di procedere agli studi geologici, geotecnici e sismici necessari ai sensi di legge, a supporto del progetto di realizzazione Impianto agrivoltaico della potenza di 51 MW e opere connesse, denominato “Cervia PV” che sorgerà nel Comune di Cervia sui terreni della località Valle Felici più avanti specificati e descritti.

L’area in esame di prevista realizzazione è ubicata nel comune di Cervia RA, sul mappale censito al N.T.C. del comune di Cervia, Foglio 73: mappale 7.

Lo Studio GEA.SISTE Ingegneria Via Pasubio 2/28 Pinerolo TO – p.iva 07510230019 è stato incaricato della Progettazione Generale dell’intervento.

La presente indagine è stata svolta ai sensi del D.M. 17/01/2018 “T.U. sulle Costruzioni”, per quello che riguarda la produzione dei modelli geologici e geotecnici di intervento nonché per la produzione della caratterizzazione sismica di sito.

Come previsto dalla vigente normativa si è anche fornito un quadro della pericolosità geomorfologica insistente sull’area e sulle modalità di gestione e minimizzazione della stessa alla luce della classificazione dell’area di intervento contenuta nei vigenti strumenti normativi di gestione territoriale a livello comunale e sovracomunale (PUG, PAI-PO e PGRA).

In considerazione dell’incidenza e della pericolosità delle situazioni progettuali evidenziate dai colloqui preliminari, delle condizioni al contorno e nel rispetto degli standard di lavoro previsti nella normativa di riferimento, l’indagine è stata articolata come segue:

- *sopralluoghi preliminari necessari a prendere visione dello stato dei luoghi e raccogliere tutta la documentazione occorrente nel mese di giugno 2025;*
- *analisi di tutta la documentazione ed i dati pregressi prodotti dallo Scrivente sull’area, su aree contigue e/o assimilabili;*
- *analisi delle foto satellitari disponibili così come delle risorse GIS e WMS disponibili on line, integrata dall’analisi della documentazione geologica idrogeologica ed idraulica esistente a supporto del vigente strumento urbanistico comunale;*
- *realizzazione tra settembre e dicembre 2025 di una campagna di indagine sui sedimenti interessati dall’intervento costituita da*
 - o *n.4 prove penetrometriche CPT;*
 - o *n.4 Sondaggi Sismici Verticali SSV*
 - o *n. 2 Analisi Sismica Multicanale delle onde di superficie MASW.*

Si è infine proceduto ad una rielaborazione di tutto quanto emerso nel presente lavoro, arrivando a produrre una proposta per l’esecuzione dei lavori in progetto coerente con la situazione evidenziata dalle indagini eseguite; tale proposta contiene nello specifico sia le indicazioni per la mitigazione della pericolosità geomorfologica puntuale insistente sull’area ai sensi della normativa geologica d’uso del territorio contenuta nel vigente P.R.G.C. che le indicazioni geologico geotecniche indispensabili alla progettazione di fase esecutiva ai sensi del disposto del D.M. 17/01/2018.

Inquadramento generale

Geomorfologia, geologia ed idrogeologia

Inquadramento geografico

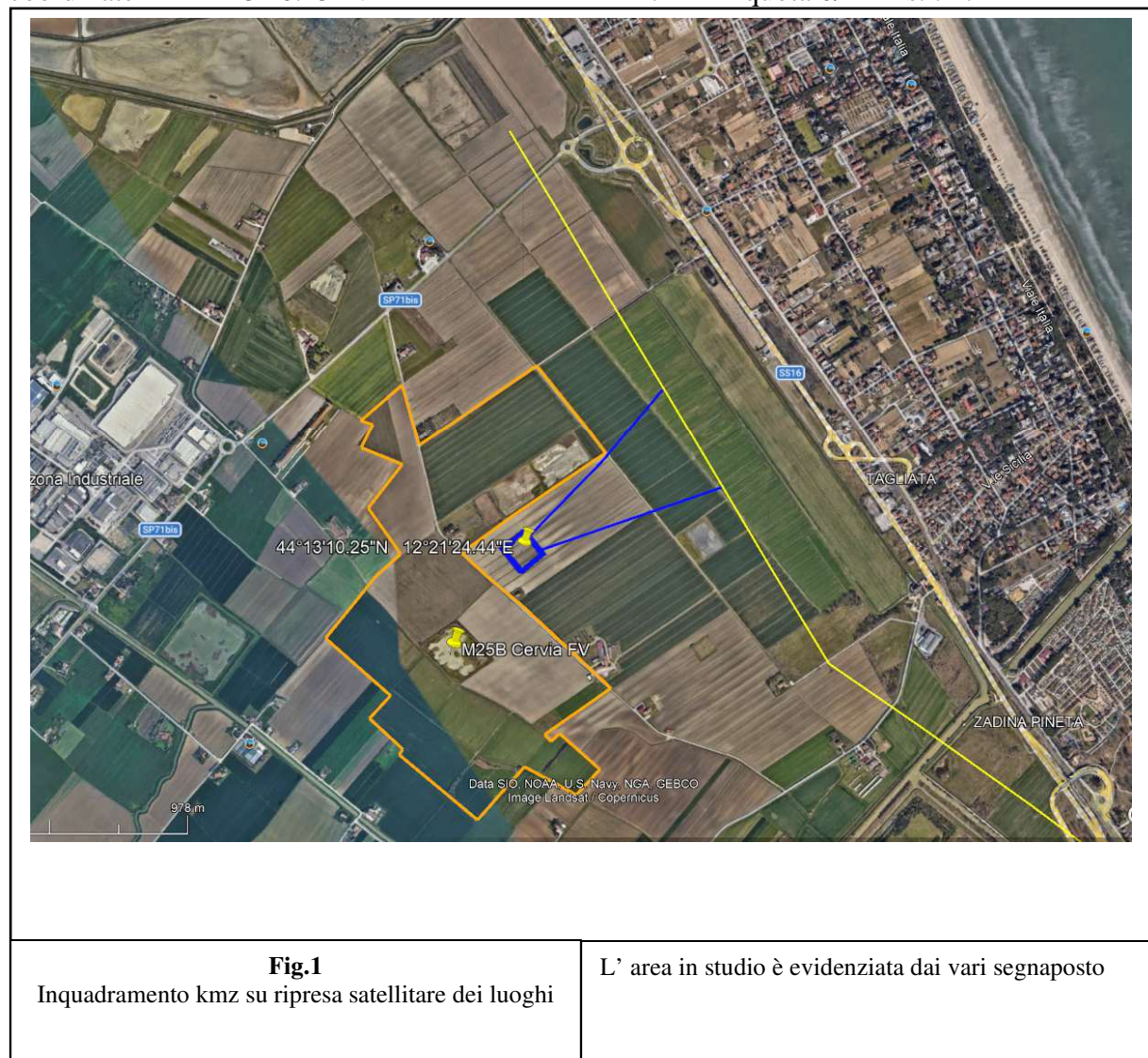
L'areale preso in esame si trova in reg. Valle Felici (Case Sbozza Cascina Bovona), nel comune di Cervia RA ed è costituito da una ampia sequenza di coltivi retrodunali, posti immediatamente a sud della storica salina di Cervia, aventi estensione complessiva di poco superiore agli 85 ettari.

Si tratta di una antica zona di laguna retrodunale denominata appunto Valle Felici, bonificata negli anni 80 tramite la realizzazione dell'idrovora "Tagliata" che ha consentito e consente ancora il sollevamento delle acque e il loro rilascio verso mare.

Tutto l'areale si trova compreso tra: a ovest la zona industriale Montaletto e poi l'aeroporto militare di Cervia Pisignano mentre a est scorre la litoranea S.S. 16, la linea ferroviaria Adriatica poi seguita dalle prime propaggini del concentrico di Cervia.

Posizione Stazione Elettrica -
coordinate 44°13'10.25"N

12°21'24.44"E - quota 0/-1 m s.l.m.



Geomorfologia Analisi di macroscala

Il territorio comunale di Cervia si inserisce alle estreme propaggini di SE della porzione romagnola della pianura padana in prossimità ed in corrispondenza dell'attuale linea di riva.

Dal punto di vista morfologico, il territorio comunale presenta una morfologia ovviamente prevalentemente pianeggiante, con inclinazione prevalente verso NE ed è contraddistinto da bassissime pendenze.

Analizzandolo più nel dettaglio andando ad individuare micromorfologie e dinamiche di genesi il territorio comunale di Cervia presenta una micro geomorfologia complessa e variegata, caratterizzata da una combinazione di forme deposizionali plurigeniche ascrivibili a piana alluvionale, piana costiera, cordoni dunosi e aree depresse; Tali forme come detto sono a modesta/modestissima energia e si inseriscono in una zona con morfologia prevalentemente pianeggiante, con una leggera inclinazione verso nord-est e quote che variano da 20 metri sul livello del mare nella parte sud-occidentale a circa un metro sotto il livello del mare nelle zone costiere più depresse esclusa la parte delle saline dove si raggiungono anche i - 3 m sotto il livello del mare.

Dalla relazione di corredo generale allo studio di microzonazione sismica del comune si ricava che altimetricamente si possono individuare 3 sottozone principali:

1. Porzione elevata: Situata al confine occidentale, con altitudini che diminuiscono progressivamente verso nord-est.
2. Zone depresse: Comprendono la Salina di Cervia, Valle Felici ovvero il ns areale, e la zona di Stazzona, caratterizzate da quote sotto il livello del mare e cordoni dunosi relitti.
3. Area costiera: Quote tra 0,5 e 3 metri sul livello del mare, con spiagge e dune stabilizzate, semi-stabilizzate e in evoluzione.

Dal punto di vista geomorfologico poi si possono individuare 3 Unità Morfologiche caratteristiche:

Piana alluvionale: Dominata dal fiume Savio, con un tracciato meandriforme e depositi fluviali di sabbie, ghiaie e argille.

Cordoni dunosi: Tracce di dune relitte visibili soprattutto nella zona de La Stazzona.

Piana costiera: Depositati recenti e dinamici, con alternanze di materiali organici e minerali.

Geomorfologia Analisi di microscala

Gli interventi in esame si collocano al limitare inferiore della Sotto zona 1 entro la Sottozona 2 ovvero in zone depresse aventi quota prossima al livello medio mare o immediatamente al di sotto.

Si tratta di aree totalmente pianeggianti oramai totalmente antropizzate nelle forme dall'attività agricola attiva da secoli che ha agito con due modalità prevalenti ovvero dapprima elidendo ogni (blanda) forma naturale per pareggiare e spianare i coltivi poi andando a gestire secondo tracciati rettilinei o subrettilinei le lineazioni di deflusso delle acque con canali spesso aventi funzione di delimitazione tra i lotti (e relativi impianti di sollevamento per le zone depresse vd Idrovora di Tagliate).

La gestione e la eventuale ottimizzazione dei deflussi di tale rete è stata affrontata in un apposito documento di progetto denominato Relazione Idrologia-Idraulica dello studio BlueWorks di Bologna.

Geologia

I terreni affioranti in sito sono ascrivibili in toto alle successioni pleistoceniche ed oloceniche (quindi depositi da recenti ad attuali) che costituiscono tutto questo tratto di pianura costiera romagnola e segnatamente alle ^{a4/s} Sabbie del litorale con lenti e cordonature ghiaiose in facies di sabbie fini e sabbie limose usualmente sormontate da una ridotta pedogenizzazione (cfr. *Carta Geologica d'Italia F.100 "Forlì"* in Fig.3).

La più recente e dettagliata cartografia CARG in scala 1:50.000 Foglio 240-241 Forlì-Cervia, cartografa l'area come areale di affioramento di depositi ascrivibili a Argille e limi con sostanza organica di palude-laguna in facies di argille e limi variamente arricchiti in sostanza organica indecomposta in strati da sottilissimi a medi alternati ad argille, limi e raramente limi sabbiosi in cui la sostanza organica è subordinata o assente. Frequenti resti conchigliari marini o salmastri sia interi che in frammenti il tutto sostanzialmente riferibile a depositi di retrocordone (cfr. *Carta Progetto CARG FF.240-241 "Forlì-Cervia"* in Fig.4).

La potenza di questo orizzonte non è univocamente desumibile dalla cartografia consultata ma dato che gli interventi previsti sono tutti superficiali è logico attendersi che si sviluppino tutti entro questi orizzonti senza interessare i sottostanti livelli del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES) ipoteticamente collocantesi verso i 6-7 m di profondità rispetto al locale p.c..

Lo spessore di queste successioni deposizionali plioquaternarie non è quindi determinabile a priori ma è comunque da ritenersi che sia tale da mantenere un eventuale substrato litoide ben distante dal piano campagna.

Per quanto attiene alla compattezza delle coltri, essa è da ritenersi variabile sia in dipendenza della granulometria che dello stato di addensamento/saturazione dei materiali ed è da investigarsi con prospezioni dirette come quelle più avanti previste per la fase esecutiva.

Il dato consultato non consente di effettuare alcuna differenziazione tra i tre siti alternativi di prevista realizzazione per quanto restino possibili eteropie laterali nei depositi presenti sia in termini di frazione granulometrica prevalente che di stato di addensamento/compattezza dei materiali.

Tali eteropie composizionali e eventuali differenziazioni locali di soggiacenza della piezometrica, possono essere esclusivamente indagate tramite una serie di prospezioni geognostiche dirette al di fuori del mandato del presente lavoro e qui solo ipotizzate a livello di piano di indagine.

Idrogeologia

Le successioni deposizionali in oggetto sono solitamente sede di un sistema acquifero a bassissima soggiacenza indicata nei documenti comunali consultati tra -0.6 m e 3 m dal p.c. e quindi l'areale esaminato è caratterizzato dalla ubiquitaria presenza di una prima falda superficiale in diretta relazione idraulica con l'articolato sistema di scoli e canali presente la cui soggiacenza difficilmente supera il metro dalla superficie orografica.

Tale bassa soggiacenza unita alla granulometria dei depositi da origine ad acquiferi dalla potenzialità localmente variabile in dipendenza della granulometria locale degli orizzonti attraversati e configura una stratigrafia potenzialmente soggetta a fenomeni di liquefazione sismica (cfr. più oltre).

In questo acquifero resta comunque vero che i livelli a predominanza relativamente più grossolana sono sede di scorrimento preferenziale mentre eventuali livelli più francamente limo argillosi funzionano da contenimento e/o isolamento e protezione per la falda; si configura così un sistema acquifero multilayer in cui non sempre è agevole discriminare i contributi in pressione da quelli a pelo libero anche in ragione delle forti eteropie laterali caratteristiche dei depositi riscontrabili in situ.

La sommatoria degli effetti di tali possibili eteropie laterali con il regime degli apporti legato agli afflussi lineari di canali e scoli da origine ad una piezometrica genericamente sub superficiale ma la cui esatta soggiacenza può solo essere determinata attraverso una campagna stagionale di misure in piezometri esistenti o di nuova realizzazione allocati nell'area se la conoscenza delle oscillazioni della piezometria riveste un qualche rilievo progettuale.

Maggiori dettagli locali saranno quindi desunti dalle indagini geognostiche più avanti previste.



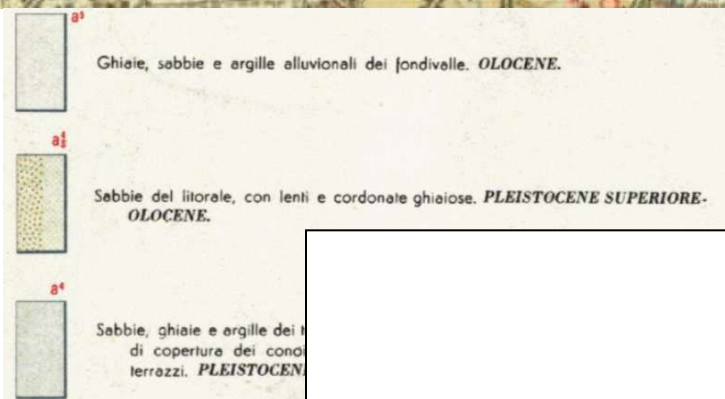
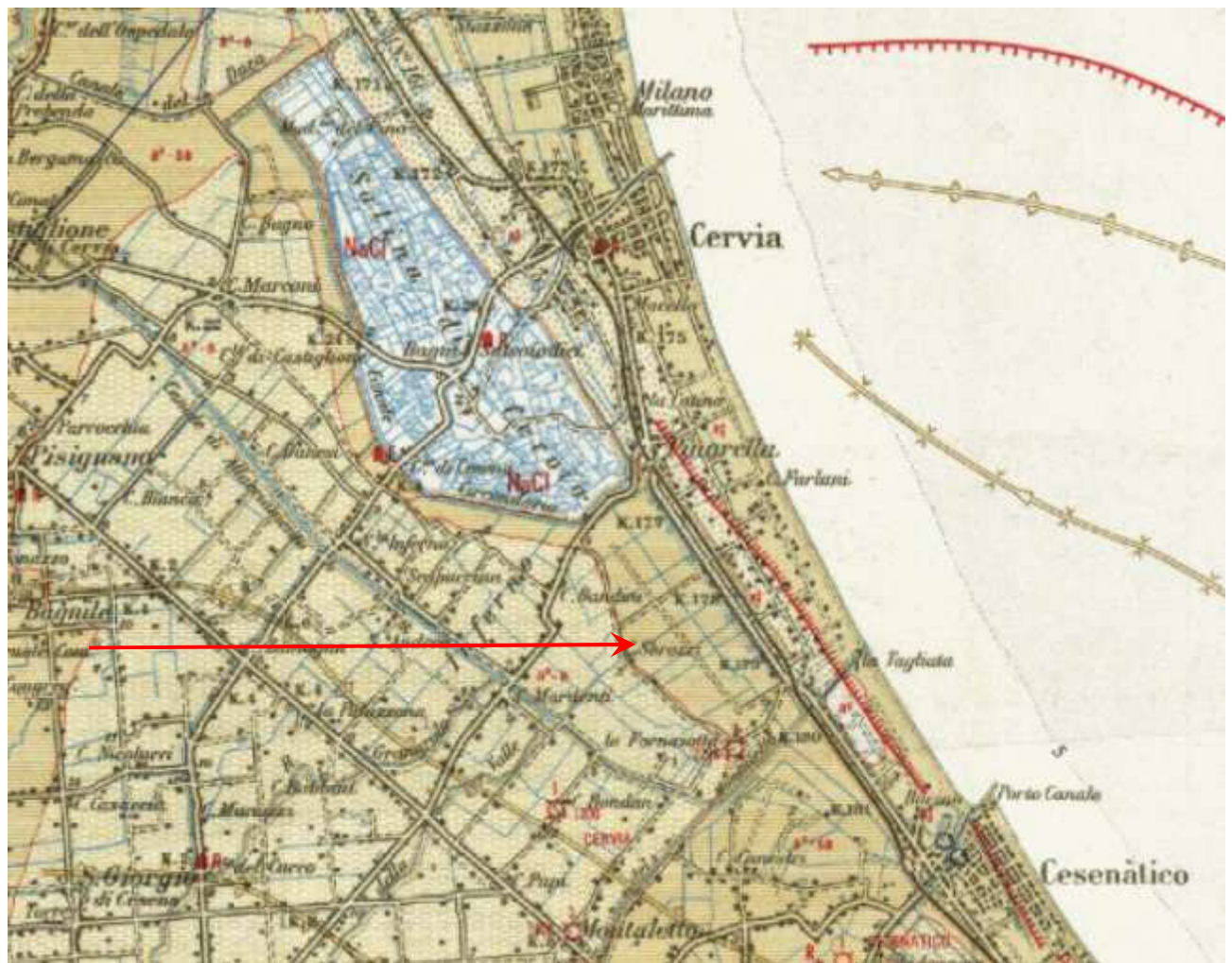
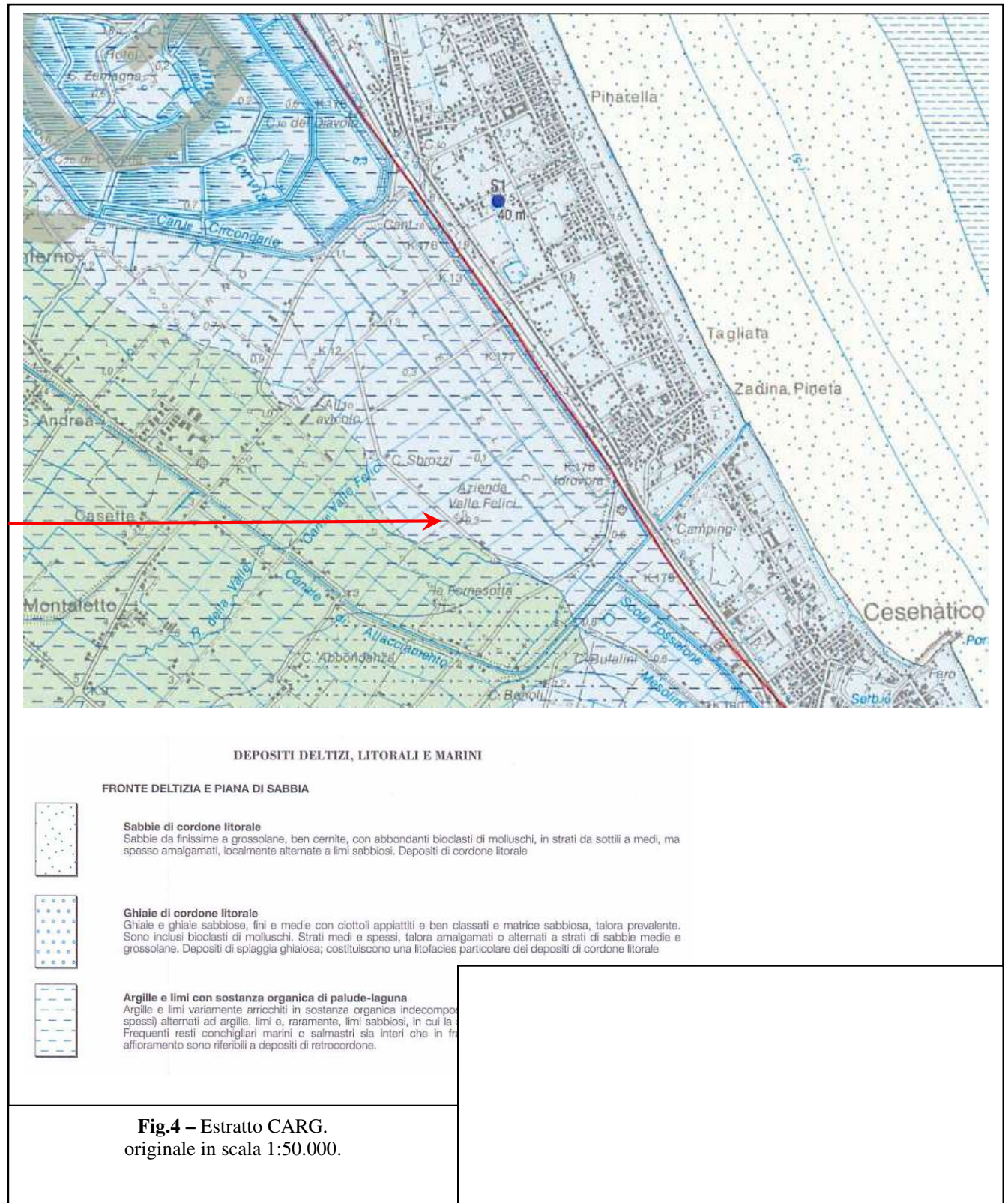
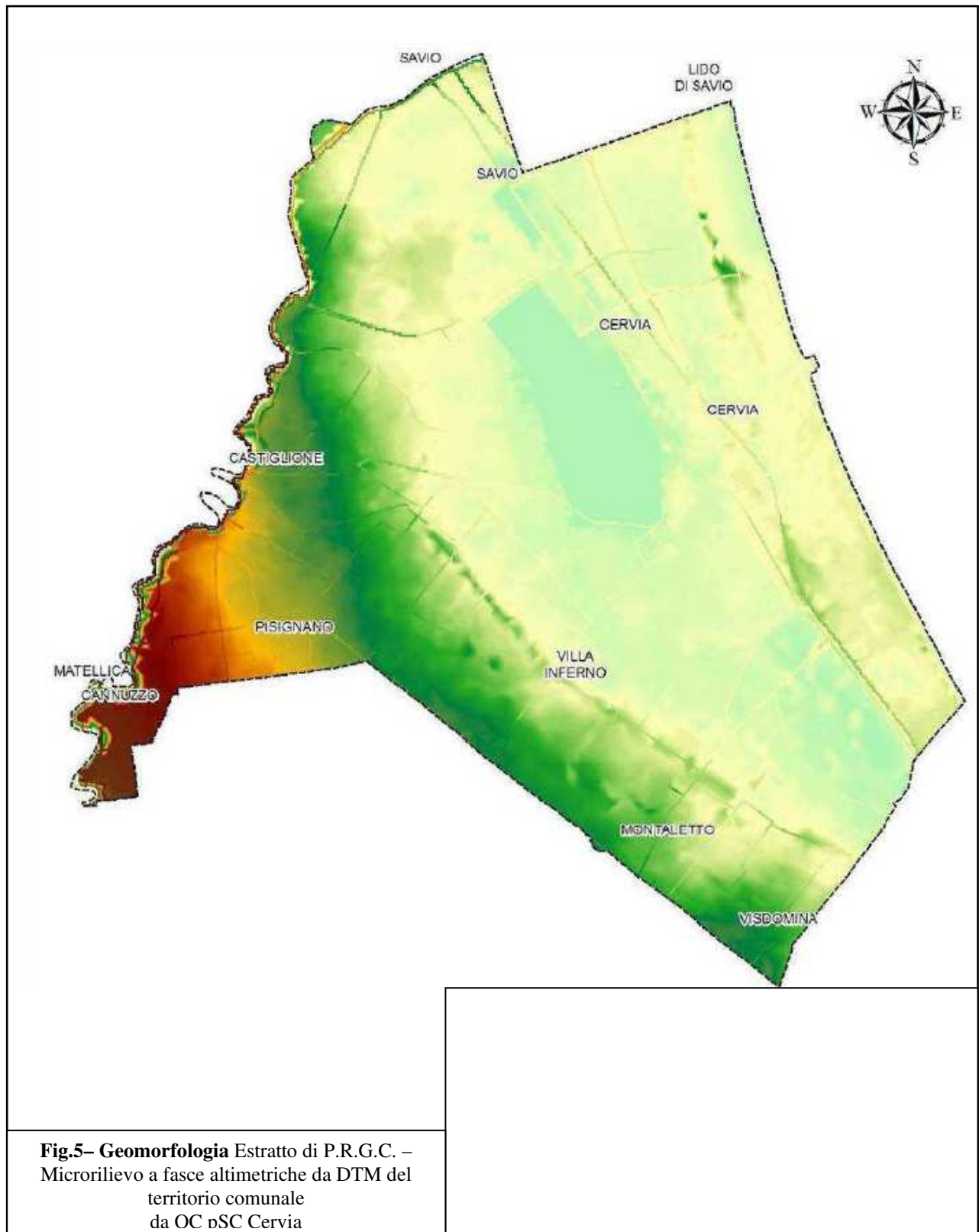
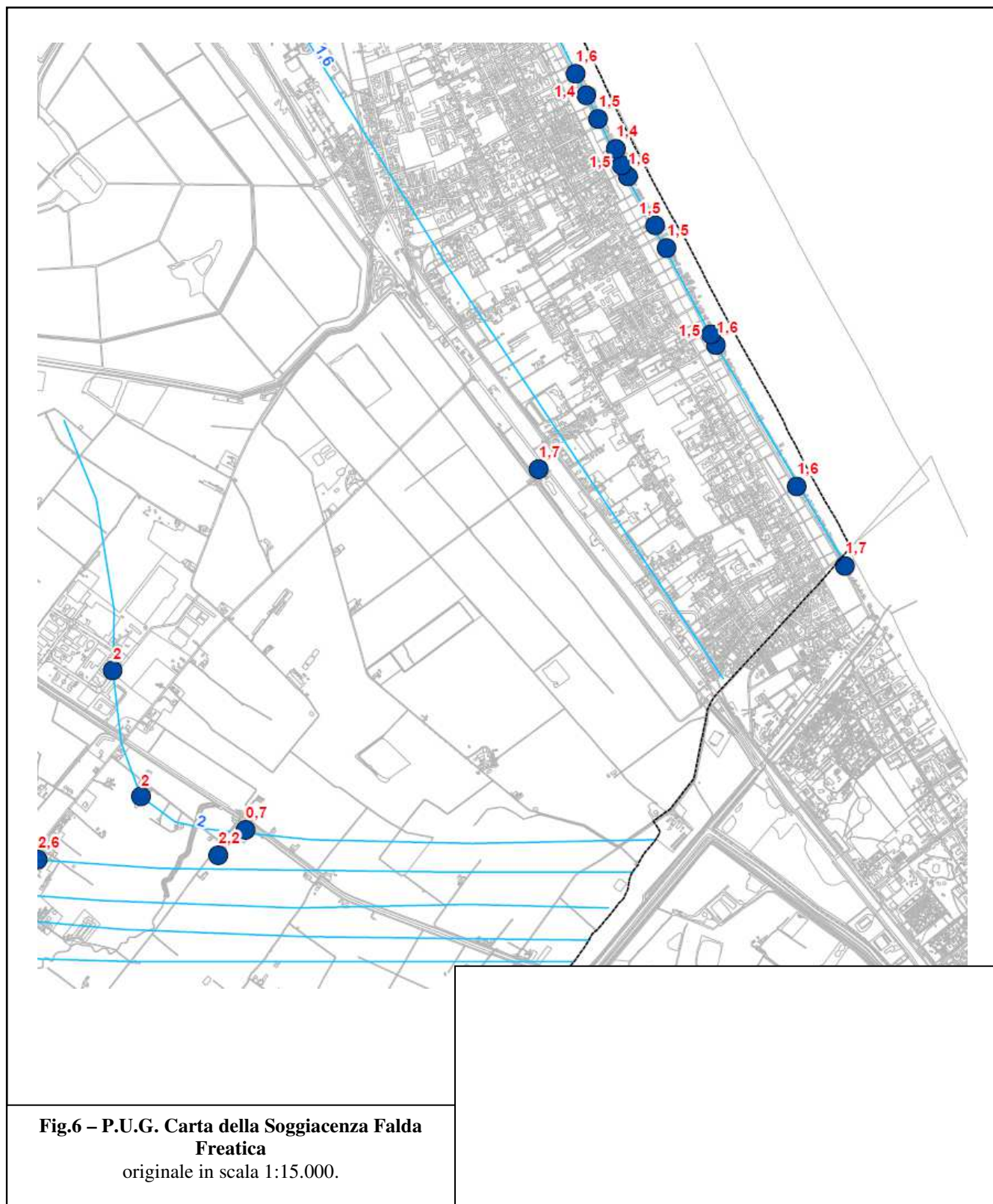
Documentazione cartografica

Fig.3– Estratto dalla Carta Geologica d'Italia.
Foglio 100 "Forlì"
originale in scala 1:100.000.







Fattibilità Normativa

Negli intendimenti progettuali vi è il progetto di realizzazione Impianto agrivoltaico della potenza di 51 MW e opere connesse, denominato “Cervia PV” da realizzarsi nel Comune di Cervia (RA).

Vincolo idrogeologico

L'area non è sottoposta a Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. 30/12/1923.

Progetto di Variante al PAI PO 2025

Con Deliberazione n. 13 del 18 dicembre 2025, la Conferenza Istituzionale permanente dell'Autorità di Bacino del Po ha adottato il progetto di Variante al PAI Po finalizzato ad estendere il PAI medesimo ai territori dei bacini idrografici del Reno, Romagnoli, Conca Marecchia e Fissero, Tartaro, Canalbiano. Progetto di Variante, per i bacini del Reno, Romagnoli e Conca Marecchia.

Per quanto riguarda le perimetrazioni delle aree di dissesto di versante (frane), i dataset vettoriali forniti nell'ambito del Progetto di variante al PAI 2025, come ovvio non mostrano perimetri di dissesto nelle immediate vicinanze dell'areale di intervento.

Rispetto alle nuove perimetrazioni delle fasce fluviali introdotte dalla variante al PAI del 2025, l'areale di intervento è rappresentato nel riquadro 3 delle tavole per il torrente Savio, di cui, di seguito, se ne riporta un estratto grafico.



Figura 7 - Estratto del riquadro 03 per il Fiume Savio (pallino rosso: posizione impianto fotovoltaico)

Come visibile dall'estratto riportato, l'areale di intervento è posto all'interno della fascia “C – area di inondazione per piena catastrofica” per la presenza del Fiume Savio e come desumibile dall'analisi dell'elaborato citato tale pericolosità è da mettere in relazione ad un eventuale

sormonto o crollo delle arginature presenti (*cd defence failure*) mentre tali arginature sono ritenute adeguate a smaltire tutte le portate di progetto in condizioni di loro corretto funzionamento.

La classificazione attribuita è quindi M-P2 e H-P3 ma Anche lo stesso decreto conferma la non applicabilità delle limitazioni negli ambiti M-P2 ed H-P3 del PAI all'area in oggetto, confermando quindi che per le nuove fasce fluviali si applicano le sole limitazioni della Fascia C del PAI Po e non quanto indicato nella DGR 1300/2016 o nel PGRA vd oltre.

Giova qui ricordare che nella Fascia C del PAI valgono le previsioni dello strumento urbanistico vigente, qui Piano Urbanistico Generale P.U.G. e le cautele di gestione della pericolosità geomorfologica da esso previste.

Piano Gestione Rischio Alluvioni PGRA (revisione 2019 superato dall'adozione Variante al PAI PO 2025)

Per tale strumento di gestione territoriale distingue per gli areali peri costieri quali quello in esame due tipologie di Pericolosità ovvero Scenari di Pericolosità legati ad esondazioni del Reticolo Principale Di Pianura e Scenari di Pericolosità legati ad esondazioni del Reticolo Idrografico Secondario.

Per l'areale in questione tale strumento individua una Pericolosità da Reticolo Principale *P2-media Alluvioni poco frequenti* mentre una Pericolosità da Reticolo Secondario *P3-Elevate Alluvioni Frequenti* legata al fatto che nel secondo caso la sicurezza di tutto l'areale è completamente sottesa al buon funzionamento idraulico dell'idrovora di Tagliate.

La susseguente e complessiva valutazione in termini di Classi di Rischio risulta quindi comunque *R2-Rischio Medio*.

Normativa geologica del vigente Piano Urbanistico Generale P.U.G.

Il Piano Urbanistico Generale P.U.G. riprende sostanzialmente il dato di pericolosità geomorfologica degli strumenti sovraordinati prima citati ed individua per l'area una situazione di Aree di Potenziale Allagamento (Art.6 del PAI) con tiranti idrici possibili attorno ai 50 cm (cfr Relazione Idrologia-Idraulica dello studio BlueWorks di Bologna).

La piezometria come già detto viene rappresentata come compresa tra i -2 m dal p.c. e i -1.6 m dal p.c. e le norme di autoprotezione/riduzione del rischio possono sinteticamente essere riassunte con:

a. Misure per ridurre il danneggiamento dei beni e delle strutture:

a.1. la quota minima del primo piano utile degli edifici (e delle nuove strutture) deve essere all'altezza sufficiente a ridurre la vulnerabilità del bene esposto ed adeguata al livello di pericolosità ed esposizione, norma qui rispettata con un adeguamento delle quote di posa dei piazzali e con la rimodellazione della rete dei deflussi esistenti;

a.2. é da evitare la realizzazione di piani interrati o seminterrati, non dotati di sistemi di autoprotezione qui comunque non previsti

Progettazione geologico geotecnica e minimizzazione del rischio idrogeologico

Per quello che riguarda la progettazione geologico geotecnica si è qui più avanti fornito un modello geologico geotecnico ricavato dalle indagini dirette e sismiche eseguite (cfr più avanti nel testo) mentre per la minimizzazione del rischio idrogeologico si rimanda alle opere e alle verifiche contenute relazione Idrologia Idraulica di progetto

La presente Relazione Geologica e Geotecnica si pone quindi quale strumento da progettazione per la realizzazione del progetto in parola ai sensi del disposto T.U. 17/01/2018 NTC18.

Piano di indagine

Per arrivare a definire in un dettaglio sito specifico i parametri e le modellizzazioni geologico geotecniche prevista da normativa si è proceduto all'esecuzione di una campagna di accertamenti geognostici così strutturata:

- 1) rilievo di dettaglio delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del sito;
- 2) esecuzione in situ di 4 prove penetrometriche statiche CPT;
- 3) misura della soggiacenza di falda in ciascuno dei fori di prova delle CPT;
- 4) esecuzione di due prove MASW Multichannel Analysis of Surface Waves;
- 5) esecuzione di n.4 Sondaggi Simici Verticali SSV.

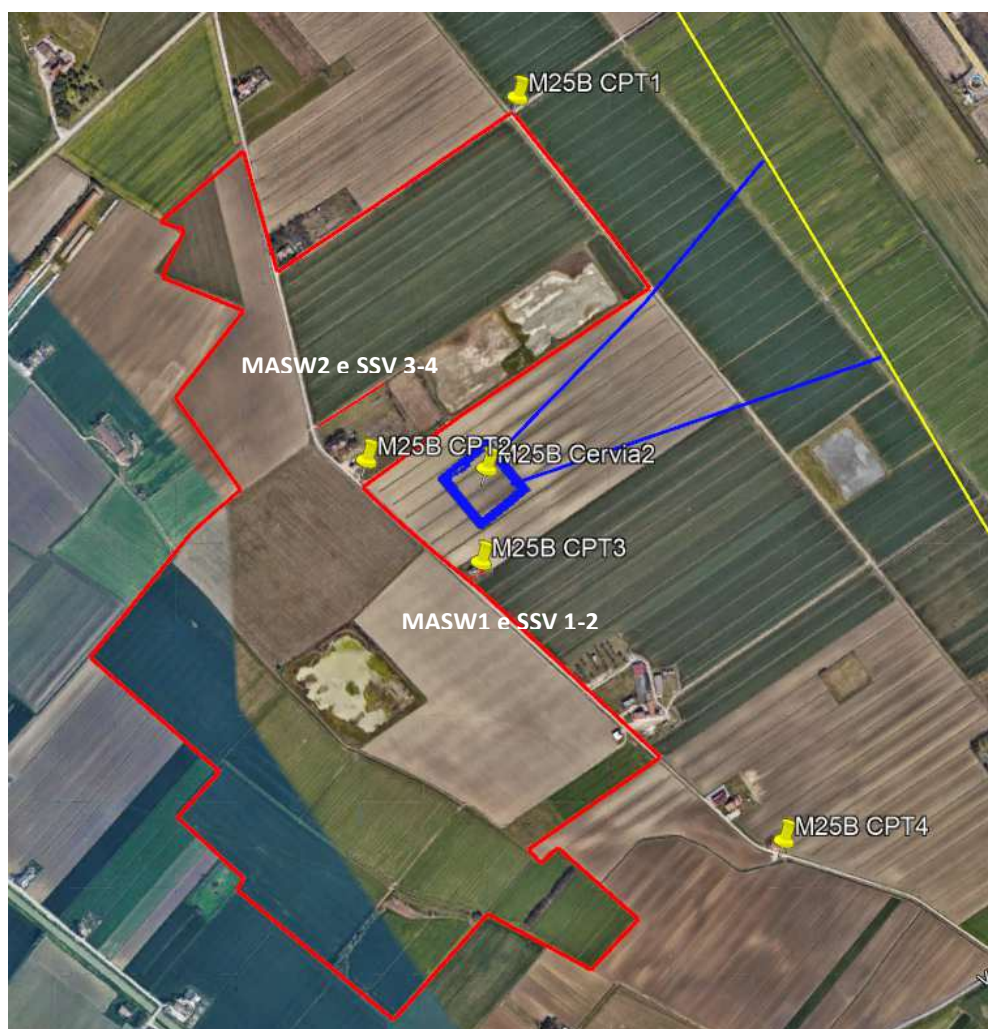


Fig.8 - Planimetria Indagini CPT e MASW/SSV

Le risultanze delle indagini eseguite

Premessa

Tutte le schede e i diagrammi relativi alle prove eseguite sono disponibili in allegato; per tutti i riferimenti di quota si è utilizzato il livello del piano campagna (p.c.) al momento dell'esecuzione delle indagini e prima di qualsiasi interventi di sbancamento e/o riporto così come riportato nelle foto allegate alla presente e come rilevato nelle planimetrie di Stato di Fatto (cfr. documentazione progettuale).

Rilievo di campagna

Dal rilievo di dettaglio si è evidenziato come non sono emerse problematiche geomorfologiche attive di dissesti a carico del sito in esame confermando quanto esposto nella cartografia geologica di P.U.G. e P.A.I. esaminate mentre restano confermata la potenziale esposizione a fenomeni di esondazione come meglio descritto negli strumenti di gestione territoriale esaminati.

L'unica criticità riscontrabile per il progetto in esame è rappresentata

-dalla presenza delle acque di deflusso comunque gestite con nuove realizzazioni ad hoc (cfr *Relazione Idrologia-Idraulica dello studio BlueWorks di Bologna*)

-dalla presenza di un orizzonte torboso limo argilloso subsuperficiale o superficiale (cfr Prove CPT) che per quello che riguarda le strutture portanti ad infissione richiederà una valutazione in fase esecutiva con il fornitore delle strutture al fine di trovare una soluzione adatta a questo tipo di sottosuolo;

a tale proposito si consiglia l'esecuzione di un campo prove di infissione e/o prove di sfilamento per garantire la tenuta nel tempo delle strutture;

-dalla presenza e dall'oscillazione della falda superficiale sino a quote potenzialmente prossime alla superficie topografica con conseguente saturazione potenziale dei terreni superficiali.

Tali problematiche dovranno essere affrontate e gestite a livello esecutivo magari anche attraverso l'esecuzione di un campo prove di infissione per gli inseguitori monoassiali previsti.

Prove Penetrometriche Statiche eseguite in situ

Sono state eseguite 4 prove penetrometriche statiche denominate da CPT n.1 a CPT n.4 tutte per una profondità di 10 m dal locale p.c. sulle posizioni indicate nella planimetria prima riportata.

Tutte hanno evidenziato un primo livello molto soffice avente potenza di ca 3 m in CPT n.1 e n.2 mentre in CPT n.3 si approfondisce fino a ca -4.50 m dal p.c. per raggiungere addirittura i 7 m in CPT n.4, identificabile secondo le raccomandazioni AGI 1977 come “*argilla organica e torba*” dalle medio basse caratteristiche geomeccaniche e/o assai scadenti ($10 \text{ kg/cmq} < q_c < 15 \text{ kg/cmq}$) identificabile come terreno agricolo frammisto a termini limosi argillosi e/o addirittura torbe sensitive.

Subito a seguire si riscontra un relativo aumento locale di compattezza mostrato da un valore di $q_c > 20 \text{ kg/cmq}$ interpretabile come un livello sempre a predominante argillosa ma a maggiore compattezza e con eventuali termini maggiormente sabbiosi intercalati.

Tale livello denominabile Unità Litostratigrafica 2 si estende in tutte le prove fino a termine prove per tutte collocato a -10 m dal locale p.c.

A seguire si ritrova la stessa U.L.1 forse sfumante da argilla limosa a limo argilloso con minori intercalazioni sabbiose sempre a medio bassa compattezza.

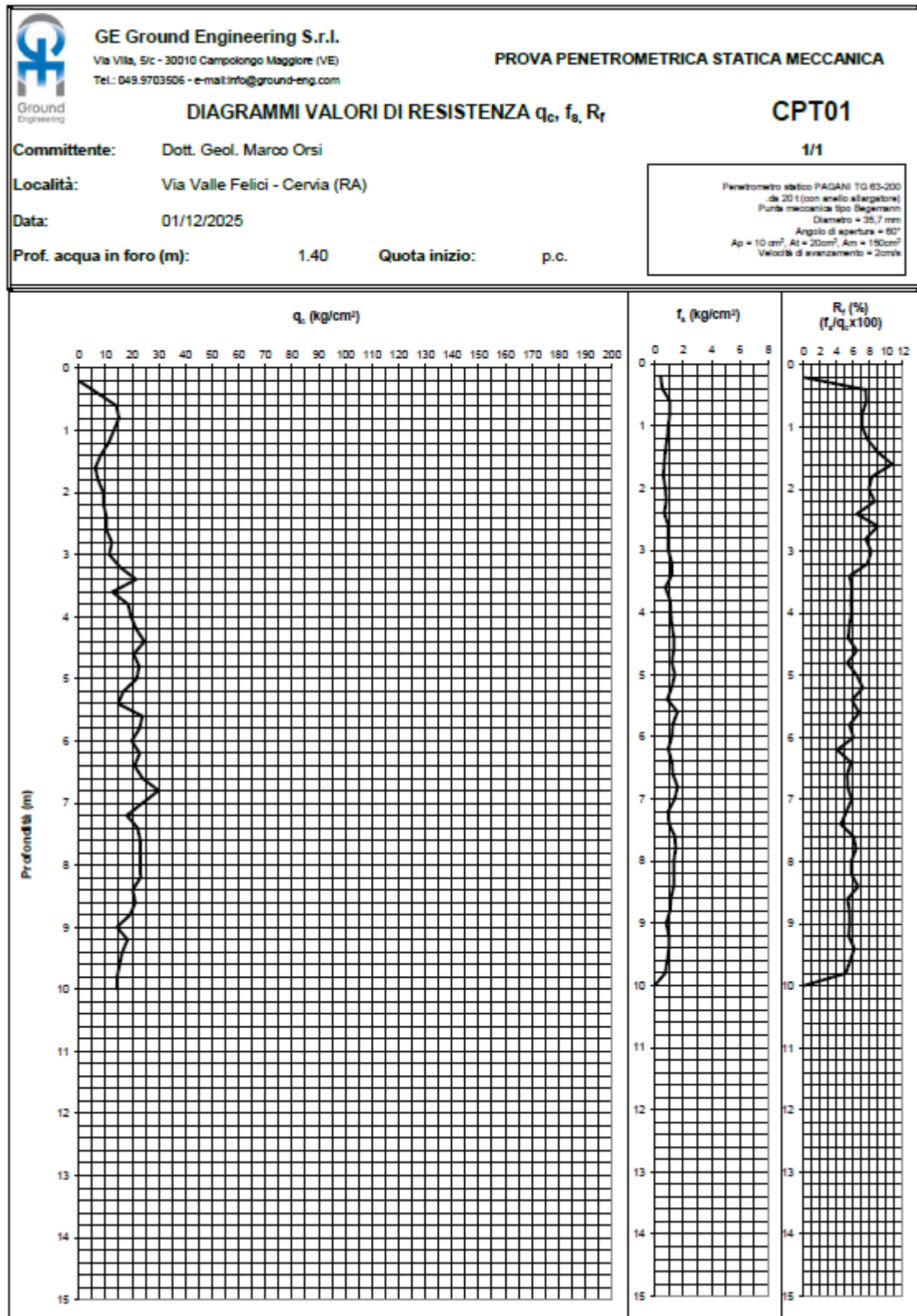
A partire da 4 m di profondità poi si entra in un secondo orizzonte stratigrafico U.L.2 decisamente a migliore compattezza, con valori di Q_c che superano anche i 100 kg/cmq, e natura più grossolana di sabbie e intercalazioni ghiaiose.

Tutte le prove eseguite confermano comunque la forte eteropia laterale dei terreni investigati per cui non si possono escludere sia situazioni localmente migliori che peggiore su tutte l'estensione indagata.

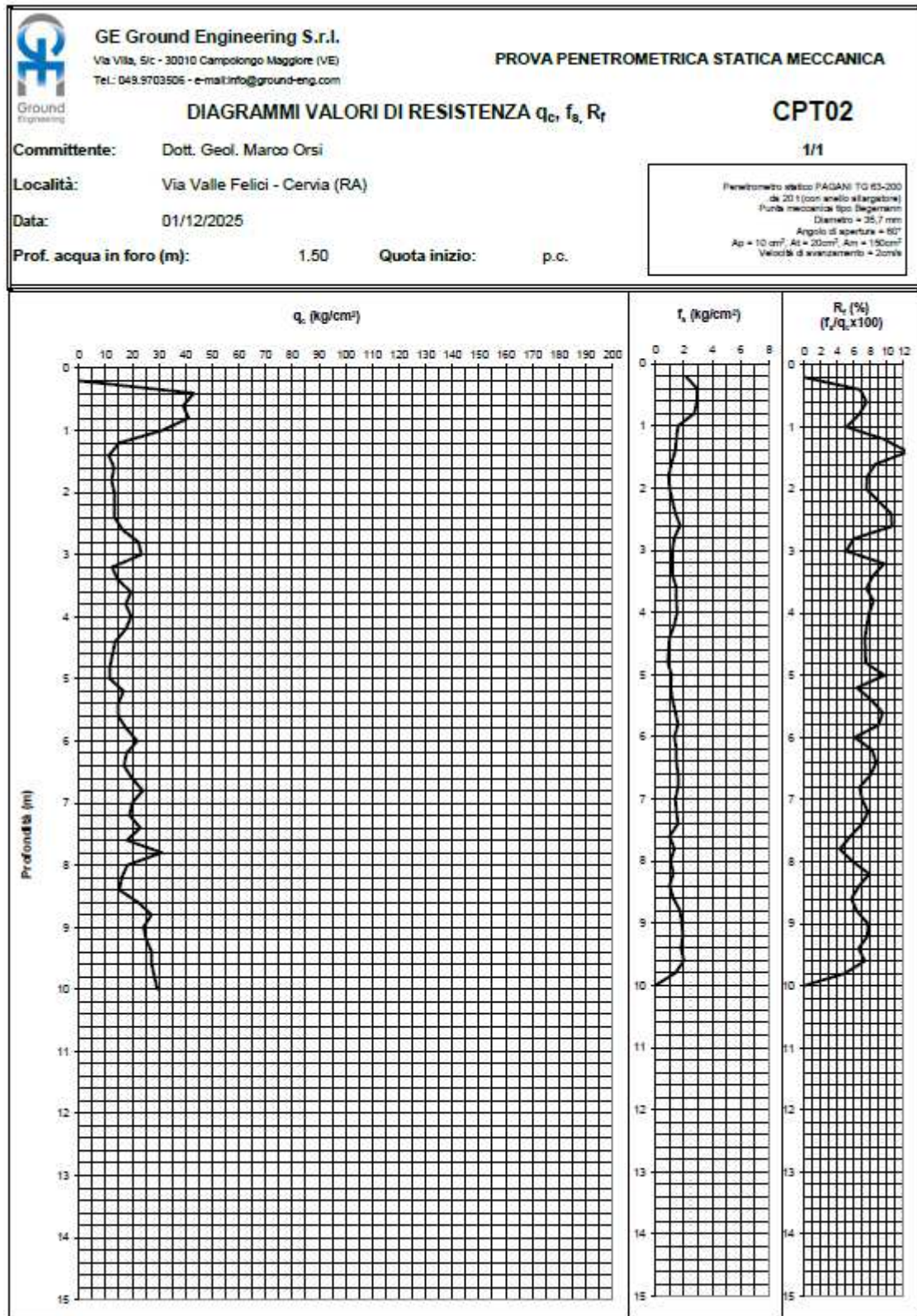
La soggiacenza di falda è stata valutata come tra -0.80 m dal p.c. e -1.70 m dal p.c. nelle 4 prove eseguite come da tabella a seguire.

Prova	Profondità di fondo foro dal p.c.	Soggiacenza di falda dal p.c.
SCPT 1	-10 m	- 1.40 m
SCPT 2	-10 m	- 1.50 m
SCPT 3	-10 m	- 0.80 m
SCPT 4	-10 m	- 1.68 m

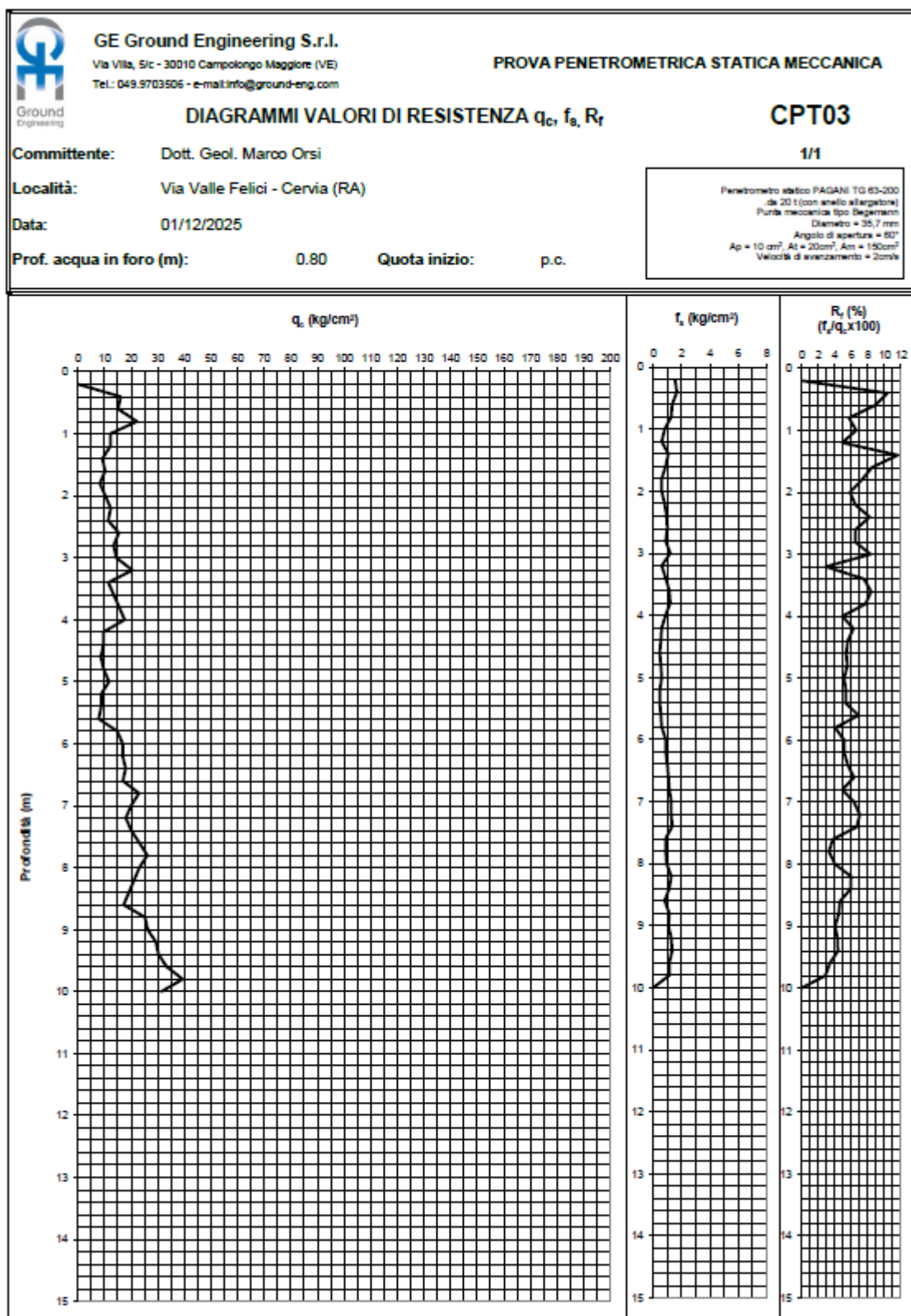
CPT n.1



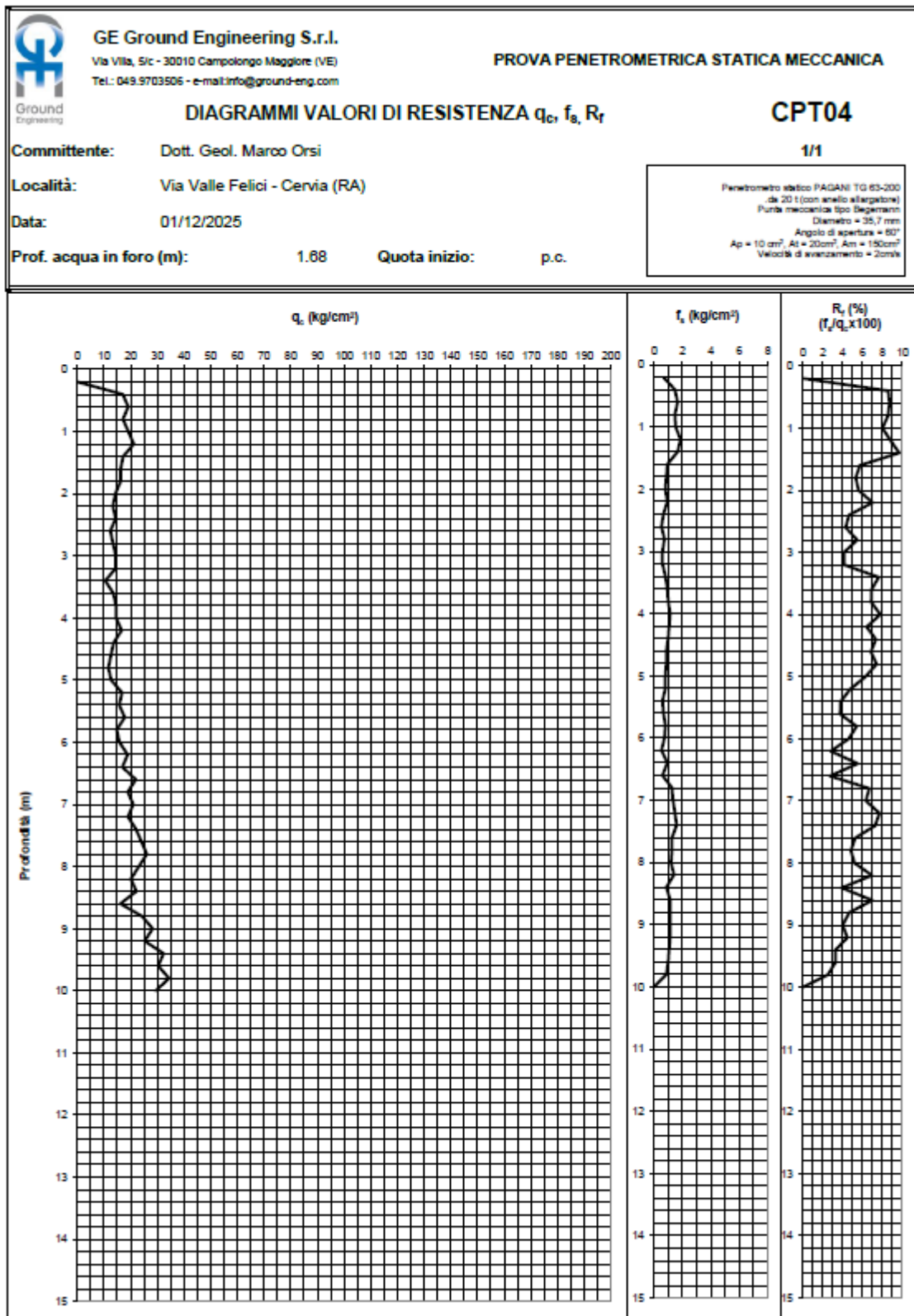
CPT n.2



CPT n.3



CPT n.4



Soggiacenza Piezometrica

<i>Prova</i>	<i>data</i>	<i>Soggiacenza dal locale p.c.</i>
CPT n.1	01/12/2025	-1.40
CPT n.2	01/12/2025	-1.50
CPT n.3	01/12/2025	-0.80
CPT n.4	01/12/2025	- 1.68

Sondaggi Sismici Verticali SSV - metodo

I rilievi sismostratigrafici eseguiti hanno utilizzato una tecnica di nuovissima concezione e di ancor più recente applicazione in Italia, che è quella dell'analisi dei microtremiti ambientali (cfr scheda esplicativa sul metodo in allegato).

Nello specifico si tratta di eseguire una misura delle minime oscillazioni naturali sempre presenti nella crosta terrestre perché indotte dall'azione di vento, maree ecc., e di andarne a studiare il rapporto tra le componenti orizzontali e verticali di tale moto.

Tale misura è tutt'altro che semplice complice le ridottissime energie e i minimi spostamenti da misurare, ed a tale scopo si utilizza un tromografo digitale ad altissima sensibilità appositamente progettato.

In estrema sintesi la tecnica H/V mette in relazioni le variazioni del rapporto alle varie frequenze tra la componente orizzontale e verticale dei microtremiti ambientali, con le variazioni litostratigrafiche che si incontrano nel sottosuolo al di sotto del punto di misura e fornisce così un'indicazione litostratigrafica al di sotto del punto di misura.

Laddove il rapporto H/V ha un picco si ha una variazione di litologia che è tanto più marcata tanto più grande è il picco in questione.

Il passo ulteriore è mettere in rapporto la frequenza a cui avviene questo passaggio con la sua profondità (inversione) operazione questa usualmente eseguita o tramite punti di taratura noti nelle vicinanze del sito di indagine o tramite programmi appositi che sfruttano tecniche di regressione matematica.

Sondaggi Sismici Verticali SSV - risultati

Nel sito indagato si sono eseguiti 4 Sondaggi Sismici Verticali SSV1-SSV4 agli estremi degli stendimenti MASW eseguiti (vd oltre).

I grafici delle misure eseguite sono riportati nelle figure a seguire, ove è possibile vedere l'analisi del rapporto H/V alle varie frequenze di interesse, mentre le schede di prova in esteso secondo le linee guida del progetto europeo Sesame sono riportate in allegato.

Si noti bene che in assenza di un punto di taratura diretta in situ le profondità che verranno qui di seguito esposte sono suscettibili di un errore di $\pm 10\%$.

M25B CERVIA SSV, SSV1-SSV4

Le quattro misure eseguite nell'appezzamento in studio mostrano una situazione estremamente omogenea con una chiara struttura di risonanza superficiale superiore ai 50 Hz e poi una sostanziale linearità del segnale ad indicare omogeneità delle caratteristiche sismostratigrafiche con la profondità o piuttosto un aumento lineare di detti parametri e privo di discontinuità nette all'interno del pacco sedimentario indagato.

Si segnala poi la presenza di una struttura costituita dalla coalescenza di deboli strutture di risonanza tra i 10 Hz ed i 4 Hz identificabile come sfumati passaggio interni ai depositi alluvionali che caratterizzano la zona.

Non è presente l'evidenza di un vero e proprio bedrock sismico entro le profondità di risoluzione del metodo ≈ 200 m dal p.c..

Tale segnale e tali strutture sono poi state messe in relazione con le prove MASW eseguite contestualmente per arrivare a produrre il prescritto profilo di dispersione delle Vs entro i primi 30 Vs-eq 0-30 m

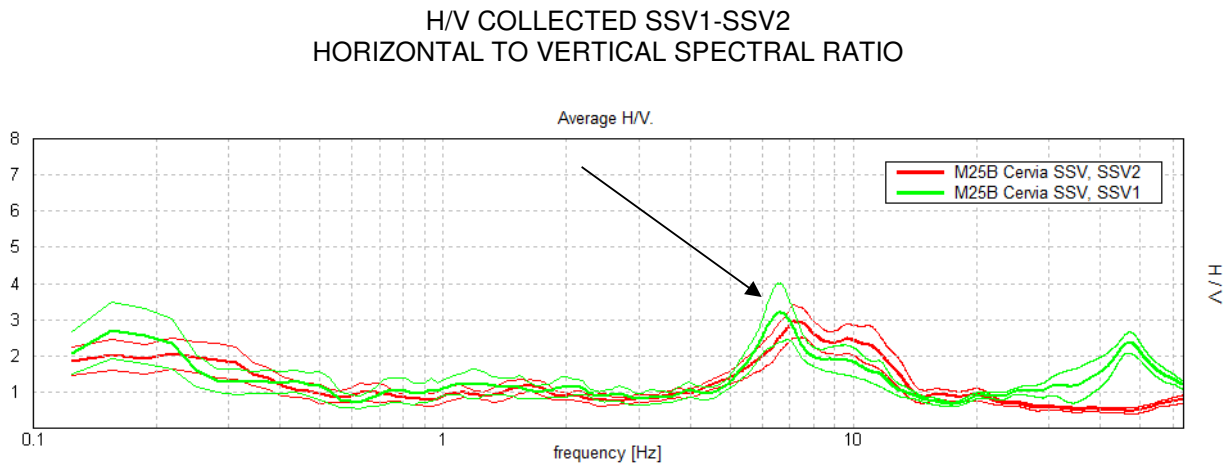


Fig. 8– SSV1-SSV2 - Grafico del rapporto H/V alle frequenze di interesse.
Le frecce nere indicano le frequenze di risonanza principali discusse nel testo

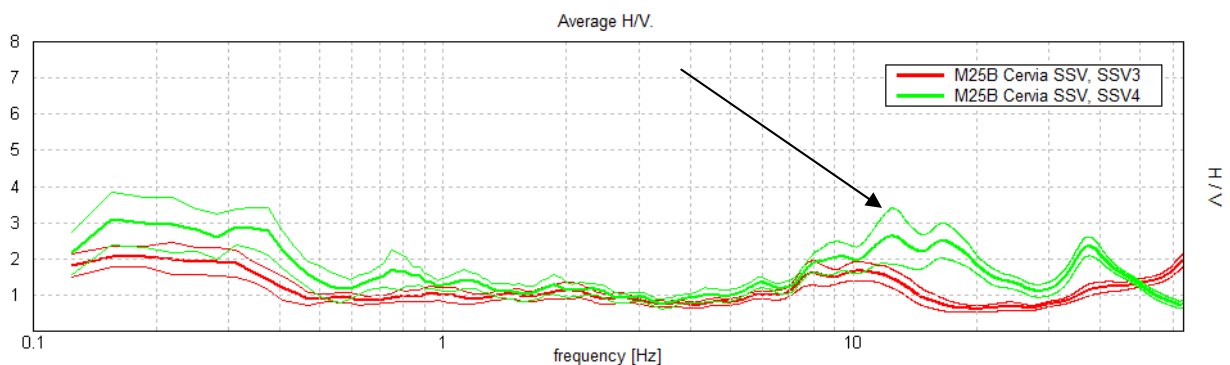
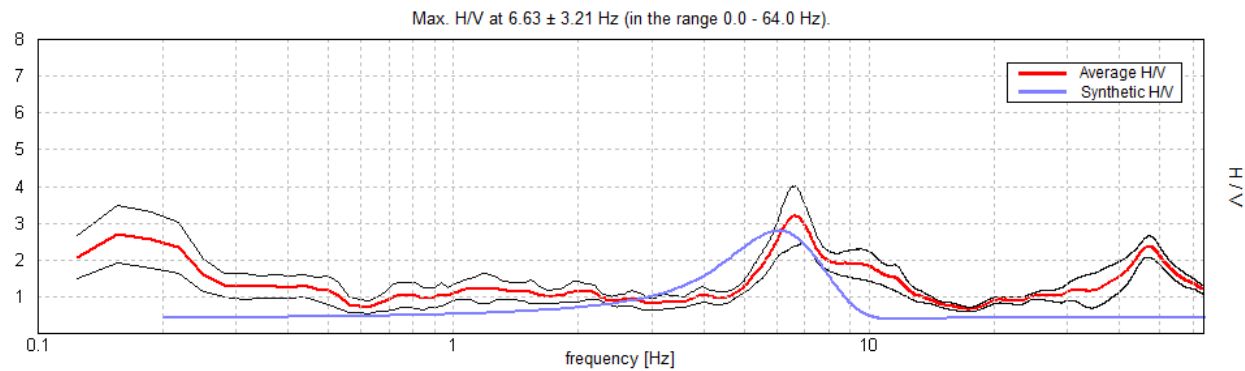


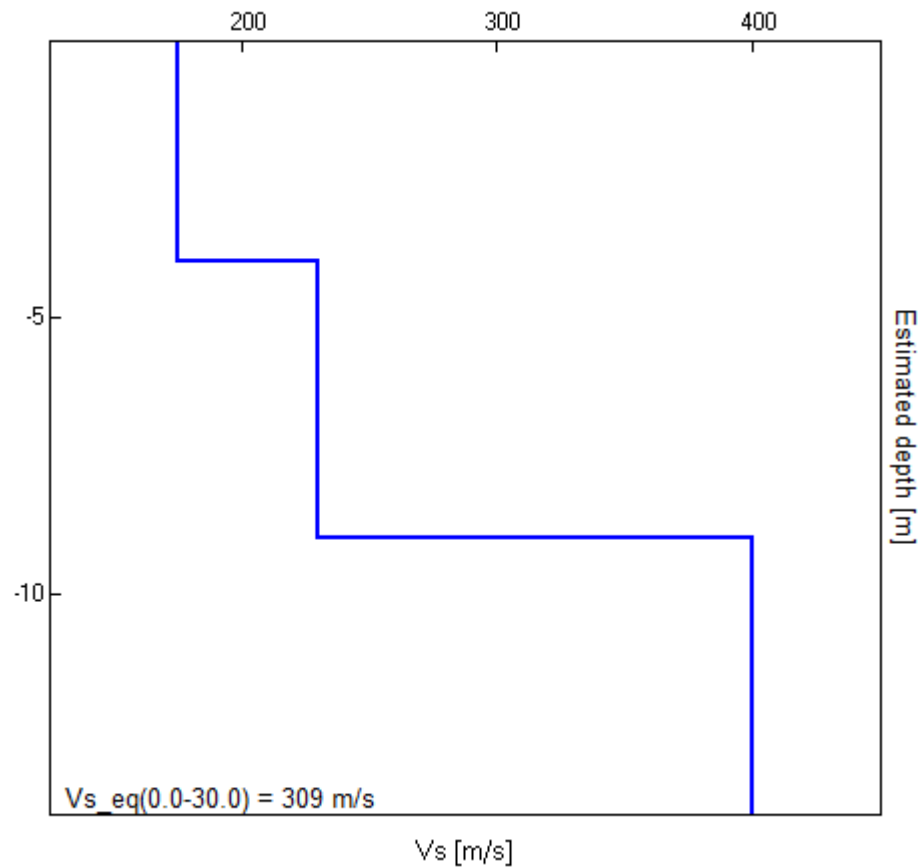
Fig. 9– SSV3-SSV4 - Grafico del rapporto H/V alle frequenze di interesse.
Le frecce nere indicano le frequenze di risonanza principali discusse nel testo

SSV1 EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	175	0.42
9.00	5.00	230	0.42
inf.	inf.	400	0.42

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 309 \text{ m/s}$



PROVE MASW

Premessa e nota metodologica

1. Tecnica di Indagine Descrizione

La MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

La prova è stata codificata da Choon B. Park, Richard D. Miller, and Jianghai Xia, Multichannel analysis of surface waves (MASW) - May 1999, Geophysics 64(3)

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

Tramite le MASW è quindi possibile determinare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, e quindi: il tipo di profilo di suolo sismico ai sensi di normativa (A, B, C, D, E).

Inoltre a differenza di altre tecniche questa è da considerarsi risolutiva in qualunque situazione stratigrafica anche in presenza di falda.

La tecnica adottata è quella della MASW sintetica ovvero a ricevitore fisso e energizzazione ripetuta ad intervalli spaziali fissi con l'ausilio di un wireless trigger per ricostruire la curva sintetica.

4.MASW 1 Analysis

M25B Cervia MASW, [Z] MASW1

File ?

	Sel.	X [m]	Y [m]
G1	✓	0.0	0.0
G2	✓	3.0	0.0
G3	✓	6.0	0.0
G4	✓	9.0	0.0
G5	✓	12.0	0.0
G6	✓	15.0	0.0
G7	✓	18.0	0.0
G8	✓	21.0	0.0
G9	✓	24.0	0.0
G10	✓	27.0	0.0

Set new intergeophone distance [m]

Set phase velocity spectra parameters

Min. Freq. [Hz] Min. V [m/s]

Max. Freq. [Hz] Max. V [m/s]

Win. Length [s] Step V [m/s]

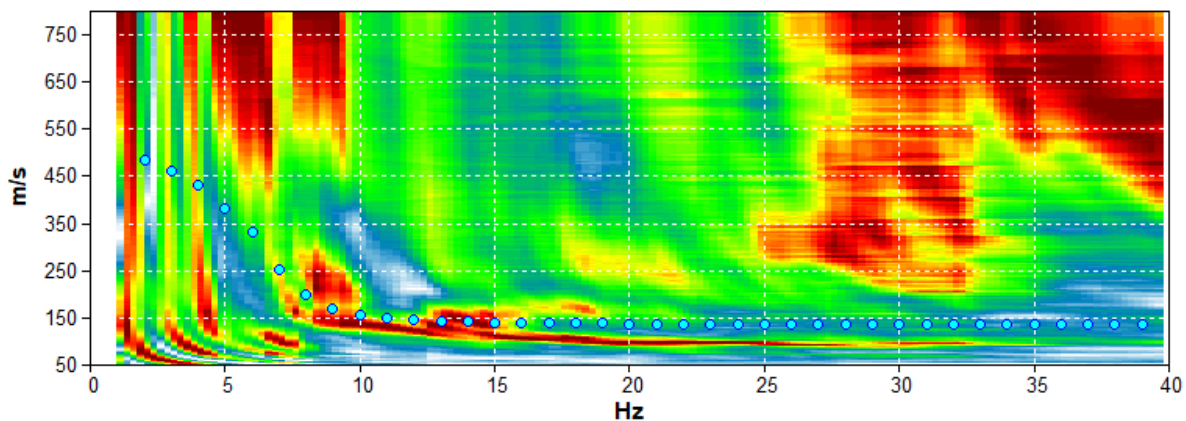
☒ ReMi / MASW ☐ SPAC / ESAC

☐ Reverse origin

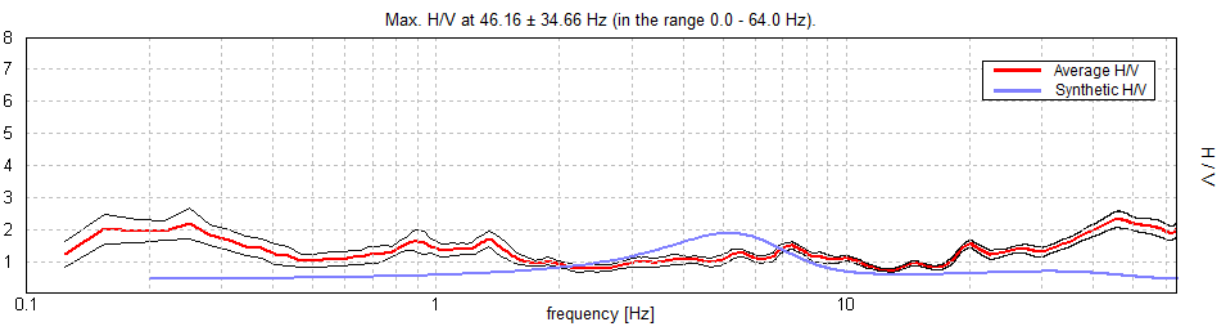
☐ Optimization

To clear old analyses select File >> Delete analyses

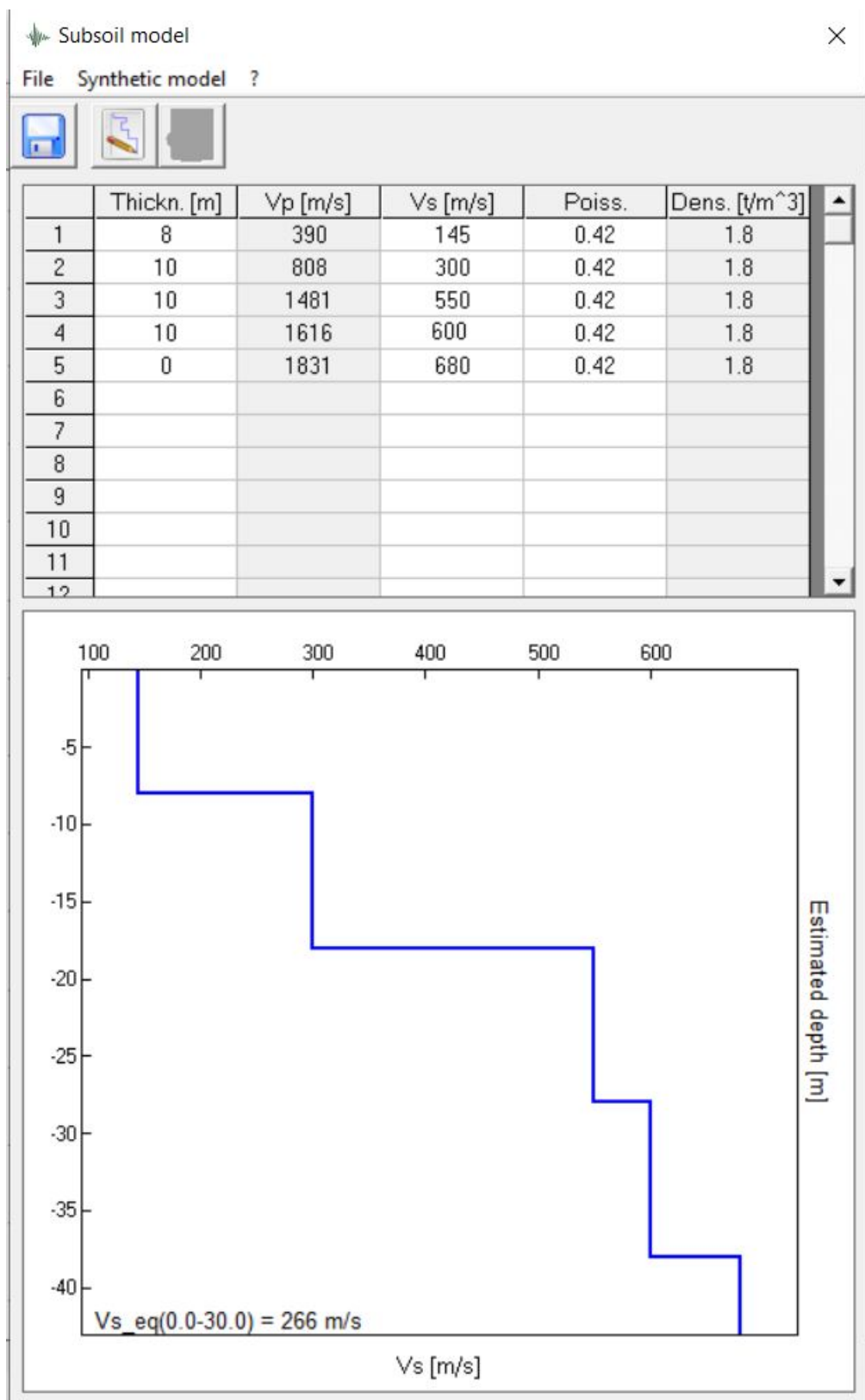
5.MASW Curva di Dispersione Sperimentale e Modello Sintetico di Inversione



6.HV vs MASW Curva Sperimentale e Modello Sintetico di Inversione



7.MASW_HV Subsoil Model



MASW 2 Analysis

M25B Cervia MASW, [Z] MASW2

File ?

	Sel.	X [m]	Y [m]
G1		0	0
G2	✓	3	0
G3		6	0
G4	✓	9	0
G5		12	0
G6	✓	15	0
G7		18	0
G8	✓	21	0
G9	✓	24	0
G10	✓	27	0

Set new intergeophone distance [m]

Set phase velocity spectra parameters

Min. Freq. [Hz] Min. V [m/s]

Max. Freq. [Hz] Max. V [m/s]

Win. Length [s] Step V [m/s]

☒ ReMi / MASW ☐ SPAC / ESAC

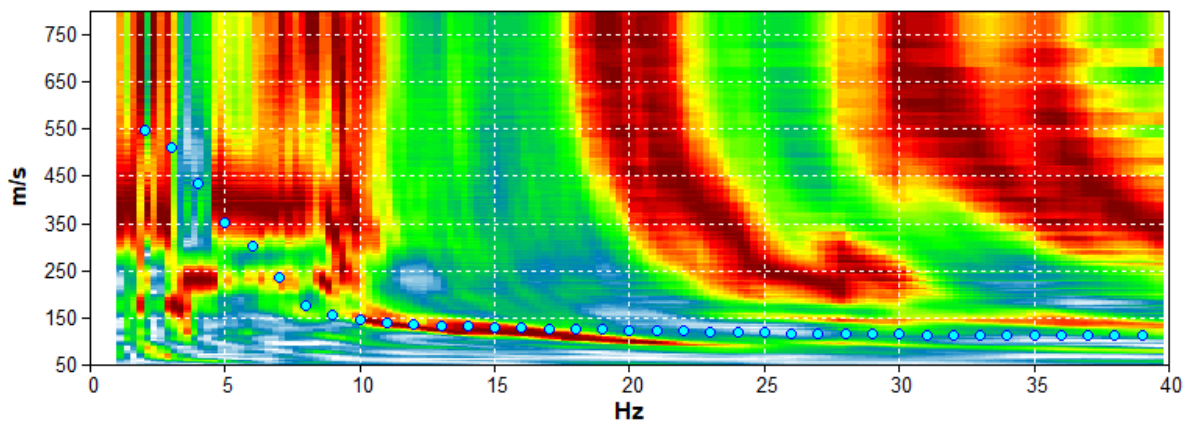
☐ Reverse origin

☐ Optimization

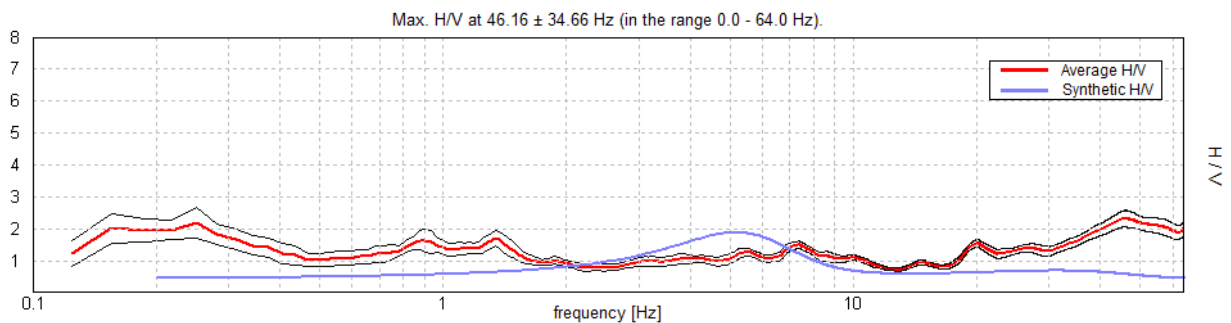
Save and continue

To clear old analyses select File >> Delete analyses

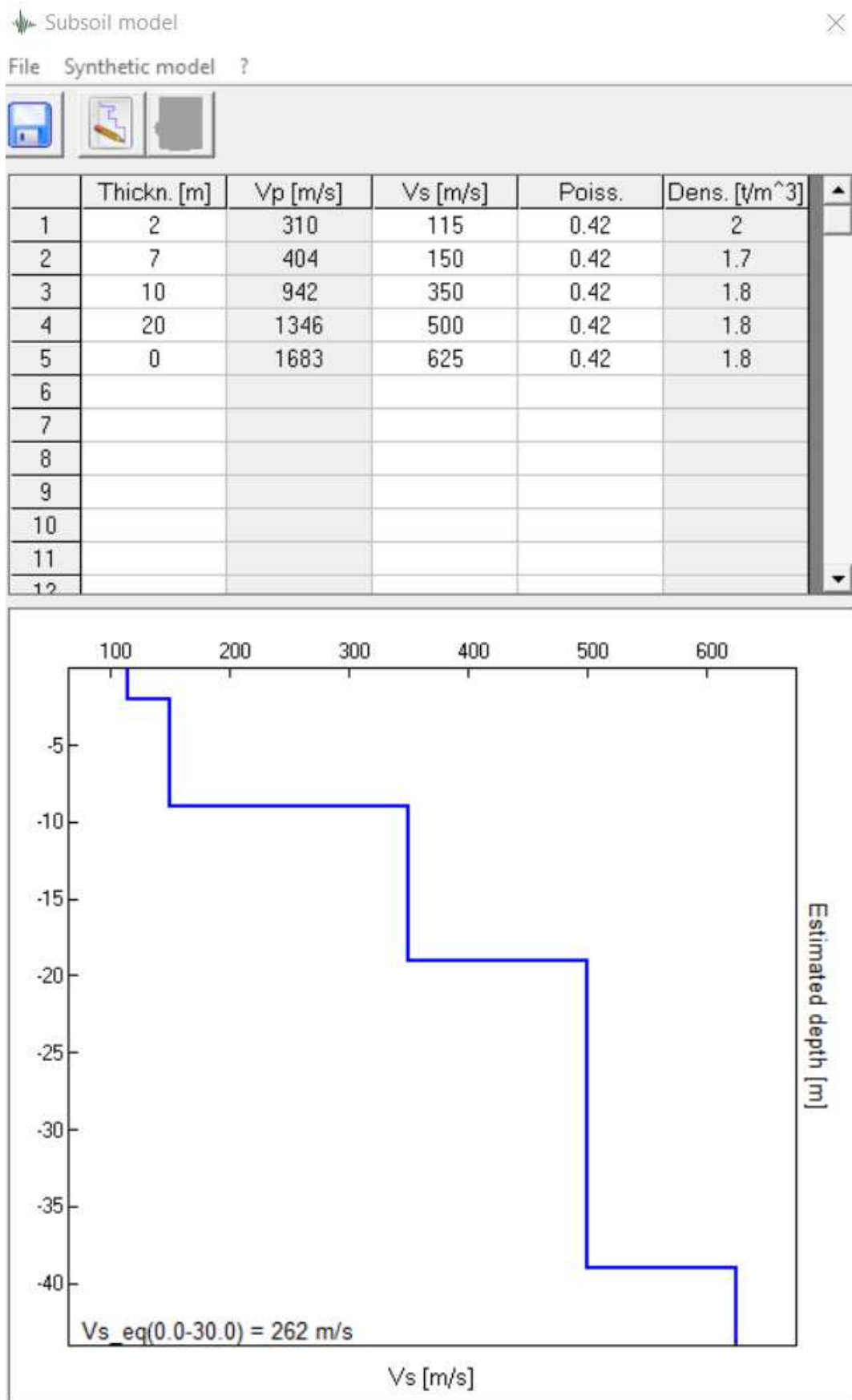
MASW 2 - Curva di Dispersione Sperimentale e Modello Sintetico di Inversione



6. HV vs MASW Curva Sperimentale e Modello Sintetico di Inversione



7.MASW 2_HV Subsoil Model



Prova	Vs_eq(0.0-30.0)
SSV1	309 m/s
MASW 1	266 m/s
MASW 2	296 m/s
	<u>media valori 290 m/s</u>

Tab. Vs_eq(0.0-30.0)

Caratterizzazione litostratigrafica, geotecnica ed idrogeologica dei terreni

Suddivisione litostratigrafica MODELLO GEOLOGICO ex T.U. 17/01/2018

	0.00 m	
Unità Litostratigrafica 1 <i>Argille Limose e limi argillosi e limi sabbiosi prevalentemente organici anche compressibili debolmente compatti eventualmente intervallati a torbe.</i>		
	> -5.00 m	
Unità Litostratigrafica 2 <i>Alternanze di argille, limi e sabbie a maggior compattezza con livelli ghiaiosi e limi sabbiosi Livelli del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES)</i>		
	> 30 m	

Tab.1 Modello Geologico

Situazione piezometrica dei luoghi

Dalle documentazioni esaminate è stata riscontrata la presenza una falda acquifera freatica di tipo permanente avente una soggiacenza compresa tra -1.70 e -0.80 m dal p.c. in probabile forte connessione non solo con il regime delle alimentazioni dei territori retrostanti la linea di riva, ma anche con la fitta rete di canali e scoli antropici presenti.

E' quindi parere dello Scrivente che durante i periodi di alimentazione dei numerosi scoli e canali che attraversano l'area, il livello si innalzi o si possa innalzare anche fino a quote potenzialmente prossime alla superficie dei luoghi.

Si consiglia dunque l'esecuzione di un monitoraggio piezometrico pluristagionale tramite punti di misura e sensoristica adeguata per monitorare la soggiacenza della prima falda durante i vari periodi dell'anno.

Caratterizzazione geotecnica degli orizzonti attraversatiMODELLO GEOTECNICO ex T.U. 17/01/2018 in termini di parametri caratteristici Fk

Da questi valori di prova, in base alle formule di uso comune disponibili in letteratura, si possono assegnare alle coltri in esame, i seguenti parametri meccanici, relativi a terreni di tipo granulare, così come desunti da Meyerhof, ed i corrispondenti valori dei fattori di capacità portante di Terzaghi (N_c , N_q , ed N_γ) così come calcolati da Vesic (1975) e ripresi da Lancellotta (1987); la densità relativa del materiale D_r calcolata sulla base dei valori di N_{spt} e delle pressione geostatica verticale efficace σ'_{v0} ed il Coef. di sottofondo k Winkler (NAVFAC-DM1 1986) per una fondazione standard larga 1 m; in ultimo si noti bene che nei terreni granulari la coesione efficace c' viene sempre posta cautelativamente pari a 5 kPa quale 5° percentile inferiore delle coesioni efficaci misurate dallo Scrivente in laboratorio, per terreni analoghi a quello qui esaminato.

Unità litostratigrafica 1 - Argille Limose e Limi argillosi e limi sabbiosi prevalentemente organici anche compressibili debolmente compatti eventualmente intervallati a torbe

$\gamma \cong 16 \text{ kNt/m}^3$			
in termini coesivi	$C_u = 0.8 \text{ kg/cm}^2$		
in termini granulari			
	$\Phi = 22^\circ$		$c' = 5 \text{ kPa}$
			$D_r = 40 \%$
	$N_c = 16.88$		$K \text{ Winkler} = 0.4 \text{ kg/cm}^2$
	$N_q = 7.82$		
	$N_\gamma = 7.13$		

Unità Litostratigrafica 2 - Alternanze di argille, limi e sabbie a maggior compattezza con livelli ghiaiosi e limi sabbiosi - Livelli del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES)

$\gamma \cong 18 \text{ kNt/m}^3$	$\Phi = 26^\circ$	$c' = 5 \text{ kPa}$
		$D_r = 50 \%$
	$N_c = 22.25$	$K \text{ Winkler} = 0.8 \text{ kg/cm}^2$
	$N_q = 11.85$	
	$N_\gamma = 12.54$	

Sismicità dell'area

Classificazione Generale in zone ai sensi Opcm 3274/03 e SS.NN.II:

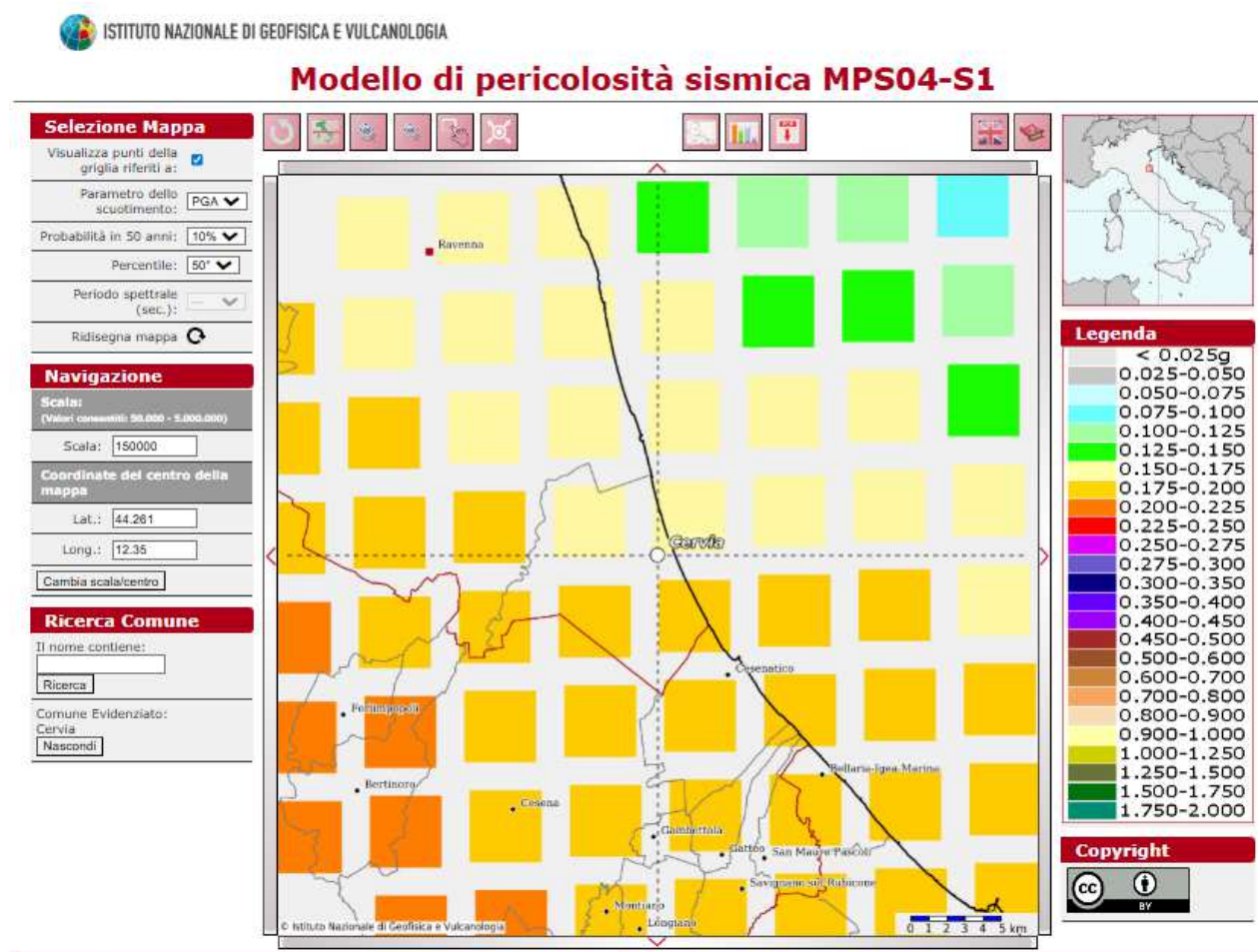
Il Comune in esame ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20/03/2003 viene classificato sismico in Zona 2.

Opcm 3519/06

la seguente dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 24/04/2006 individua i valori di pericolosità sismica dell'intero territorio nazionale su di apposita cartografia prodotta dall'INGV - griglia di riferimento pari a 0.05° poi infittita a 0.02° - espressi in termini di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi.

Tale cartografia per il sito in esame fornisce il seguente valore:

Accelerazione del suolo, riferita a suoli rigidi **0.150-0.2.00 g** con probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni.



Classificazione sismica di sito ex N.T.C. 18*Vs_eq 0-30*

Dalle indagini eseguite si è potuta stimare una

Vs_eq(0.0-30.0) media pari a 290 m/s

Vs media delle coltri subsuperficiali

Dalle indagini eseguite si è potuta misurare una Vs media riferita al pacco di sedimento subsuperficiale

$\langle Vs \rangle = 135 \text{ m/s} \pm 15 \text{ m/s}$

Frequenza di risonanza specifica dei terreni

L'analisi del tracciato della curva H/V laddove utilizzabile (SSV1 e SSV2) mostra chiaramente una serie di deboli strutture di risonanza coalescenti dei terreni investigati tra i 6 Hz ed i 12 Hz.

Controllo Stratigrafico e Topografico ex NTC18

Nelle NTC08 la definizione dell'azione sismica è valutata in primis in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (cat. A) e superficie orizzontale (Cat. T1) così come ricavabile dalla Opcm 3519/06.

Viene poi introdotta la necessità di valutare sia la categoria stratigrafica di sottosuolo che le condizioni stratigrafiche di sito (Tab. 3.2.II, III e IV NTC18) intesi come modificatori della risposta sismica orizzontale.

Controllo Stratigrafico e Topografico ex NTC08

Nelle NTC08 la definizione dell'azione sismica è valutata in primis in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (cat. A) e superficie orizzontale (Cat. T1) così come ricavabile dalla Opem 3519/06.

Viene poi introdotta la necessità di valutare sia la categoria stratigrafica di sottosuolo che le condizioni stratigrafiche di sito (Tab. 3.2.II, III e IV NTC18) intesi come modificatori della risposta sismica orizzontale mentre per le Zone 3 e 4 si esclude esplicitamente l'esame delle componenti verticali.

In rapporto a tali classificazioni la zona oggetto di intervento può essere classificata come

Suolo di Categoria C con $S_s = 1.50$

NTC18 - Tabella 3.2.II e V – Categorie di sottosuolo e massimo valore corrispondente di S_s

Categoria	Descrizione	Max coef. di Amplificazione Stratigrafica S_s
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	1.0
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	1.20
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	1.50
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	1.80
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).	1.60

Mentre considerate le caratteristiche topografiche l'area può sin da ora essere ovviamente classificata **Categoria T1**

NTC18 - Tabella 3.2.IV e VI – Categorie topografiche e Valore del coef. di amplificazione

Categoria	Descrizione	Coef. di Amplificazione Topografica S_t
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4
Note		

applicative		
a)	le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m	
b)	le suesposte categorie topografiche si riferiscono a ubicazioni in prossimità della sommità o della cresta mentre il coef. di amplificazione topografica decresce linearmente con l'altezza del pendio fino a diventare pari all'unità alla base dello stesso	

Liquefazione dei terreni

L'analisi di potenziale di liquefazione dei terreni (cfr. NTC 08 § 7.11.3.4.2) è stata condotta per tutto il territorio comunale ed indica una marcata possibilità per ampie zone del territorio comunale per $M > 6.41$ con cedimenti dei suoli anche dell'ordine di 0.30 m

Parametri Sismici Puntuali

Stati limite



Classe Edificio

I. Presenza occasionale di persone, edifici agricoli... ▼



Vita Nominale

50 ▼



Interpolazione

Media ponderata ▼

CU = 0.7

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.050	2.442	0.267
Danno (SLD)	35	0.054	2.448	0.271
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.150	2.549	0.286
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.200	2.538	0.292
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

Coefficienti sismici



Tipo

Stabilità dei pendii e fondazioni ▼

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)



1



0.1



Cat. Sottosuolo

C ▼



Cat. Topografica

T1 ▼

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,47	1,40
CC Coeff. funz categoria	1,62	1,61	1,59	1,58
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.015	0.016	0.053	0.067
kv	0.008	0.008	0.027	0.034
Amax [m/s²]	0.738	0.791	2.167	2.744
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Conclusioni

Lo Scrivente è stato incaricato dalla ditta FRV Italia Srl via Rubicone 11 - 00198 Roma – p.iva 10413450015 di procedere agli studi geologici, geotecnici e sismici necessari ai sensi di legge, a supporto del progetto di realizzazione Impianto agrivoltaico della potenza di 51 MW e opere connesse, denominato “Cervia PV” che sorgerà nel Comune di Cervia sui terreni della località Valle Felici più avanti specificati e descritti.

L’area in esame di prevista realizzazione è ubicata nel comune di Cervia RA, sul mappale censito al N.T.C. del comune di Cervia, Foglio 73: mappale 7.

Lo Studio GEA.SISTE Ingegneria Via Pasubio 2/28 Pinerolo TO – p.iva 07510230019 è stato incaricato della Progettazione Generale dell’intervento.

La presente indagine è stata svolta ai sensi del D.M. 17/01/2018 “T.U. sulle Costruzioni”, per quello che riguarda la produzione dei modelli geologici e geotecnici di intervento nonché per la produzione della caratterizzazione sismica di sito.

Come previsto dalla vigente normativa si è anche fornito un quadro della pericolosità geomorfologica insistente sull’area e sulle modalità di gestione e minimizzazione della stessa alla luce della classificazione dell’area di intervento contenuta nei vigenti strumenti normativi di gestione territoriale a livello comunale e sovracomunale (PUG, PAI-PO 2025 e residuale PGRA).

Tutto quanto prodotto ed esaminato consente di relazionare quanto segue:

- dal punto di vista dei rischi geomorfologici insistenti i siti in analisi:
 - o appaiono tutti al di fuori di aree soggette a Rischio Esondazione diretta (solo residua per defence failure, e quindi al di fuori del campo di applicazione degli Art.3-4 del PAI;
 - o appaiono omogeneamente soggetti ad un rischio di allagamento (Art.6 del PAI) evidenziato dai Piani di Bacino e Ripreso e confermato dal P.U.G. con tiranti di poco inferiori ai 50 cm;
- dunque la realizzazione appare compatibile con la destinazione d’uso del territorio prevista dal vigente strumento urbanistico stante
 - o il suo ridottissimo impatto geostatico
 - o le cautele adottate quali la sopraelevazione dei piani di imposta e la riprogettazione dei deflussi superficiali
 - o l’assenza di aumento di carico antropico connesso;
- si è quindi posto in essere un piano di indagine costituito da 4 prove SCPT estese fino a 10 m di profondità, 2 prove MASW e 4 Sondaggi Sismici Verticali SSV;
- la situazione stratigrafica dei luoghi è schematizzabile come la successione di un potente livello di alluvioni fini ed ultra fini bipartito dalle scadenti caratteristiche di compattezza in superficie;
- al momento delle indagini è stato possibile individuare una soggiacenza della prima falda a quote comprese tra -0.80 e -1.70 m dal locale p.c.;
- restano possibili anche saturazioni più superficiali in caso di periodi di precipitazioni intense e prolungate e/o di attivazioni dei numerosi canali e rogge latitanti;
- il modello geologico di intervento è stato derivato dalle indagini eseguite
- il modello geotecnico di intervento è stato derivato dalle indagini eseguite;

- la caratterizzazione sismica di sito secondo le NTC18 è stata derivata dalle indagini sismiche eseguite e dalle banche dati disponibili;
- data la variabilità laterale dei terreni investigati e le loro scarse caratteristiche meccaniche si ritiene consigliabile l'esecuzione di un campo prova a sfilamento per i basamenti degli inseguitori monoassiali ad infissione previsti a progetto.

Si ritiene quindi, sulla base dei dati sin qui resi disponibili e seguendo le prescrizioni e i suggerimenti prima discussi, l'esecuzione dei lavori in progetto coerente con la situazione emersa dalle indagini e razionalmente inserita nel contesto geologico ed idrogeologico locale.

Dott. Geol. Marco ORSI



The stamp is circular with a blue border. Inside the border, the text reads: "ORDINE GEOLOGI REGIONE PIEMONTE" at the top, "MARCO ORSI" in the center, "GEOLOGO" below it, "A.P. SEZ. A" below that, and "N. 287" at the bottom. To the right of the stamp is a handwritten signature in black ink.

REGIONE EMILIA ROMAGNA

PROVINCIA DI RAVENNA

COMUNE DI CERVIA

PROGETTO DI REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA DI 51 MW E OPERE CONNESSE,
DENOMINATO "CERVIA PV" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI CERVIA RA

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA E SISMICA
C5008.S.R03

ALLEGATI

COMMITTENTE: FRV ITALIA S.R.L.
VIA RUBICONE, 11 - 00198 ROMA – P.IVA 10413450015

per presa visione

PROGETTAZIONE:
GEA.SISTE INGEGNERIA
VIA PASUBIO 2/28 PINEROLO TO – P.IVA 07510230019

per presa visione

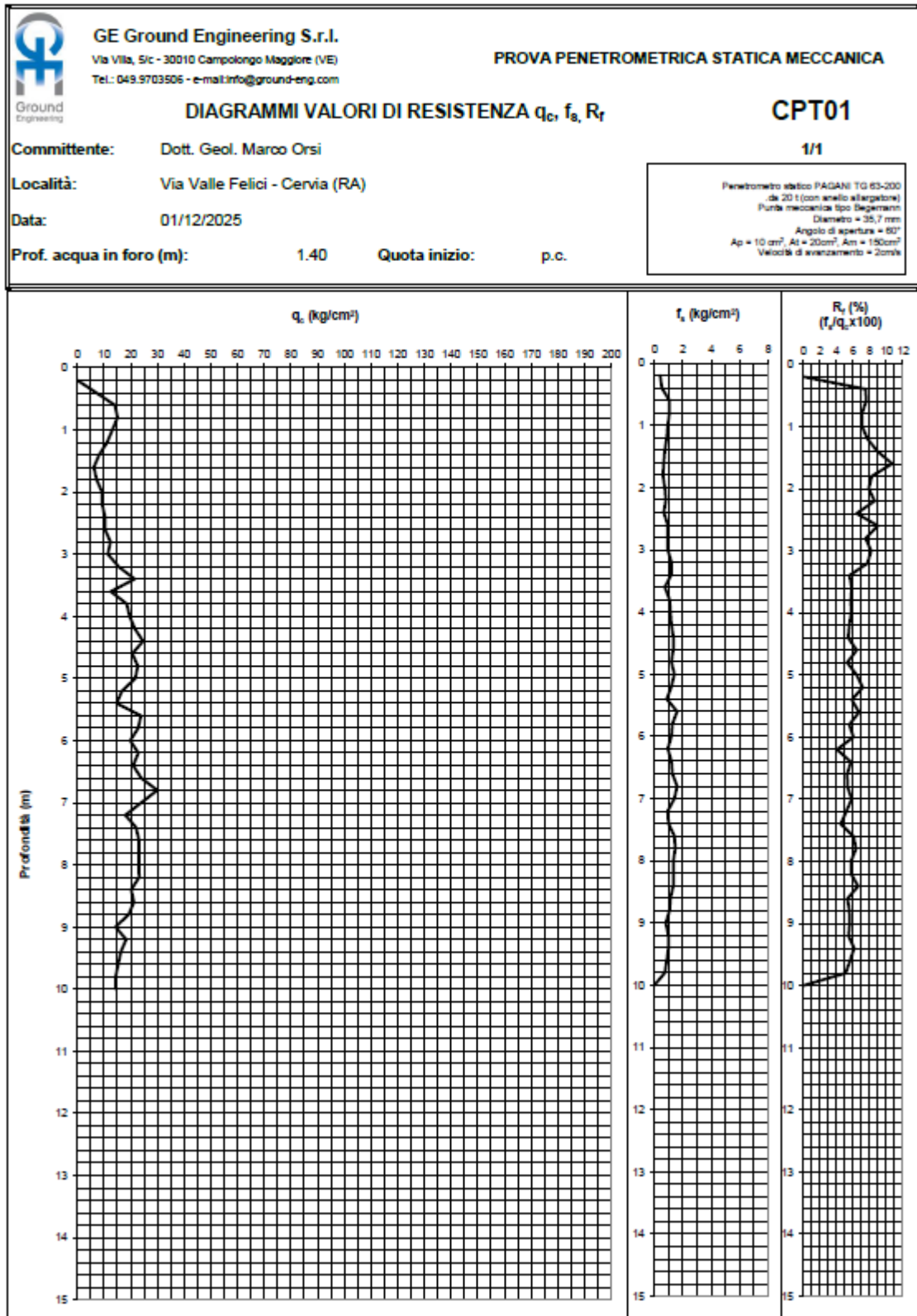
rif. M25B_2

Il Tecnico Incaricato
Dott. Geol. Marco Orsi
Dottore di Ricerca in Scienze Ambientali
Ordine dei Geologi del Piemonte n.287
via Nizza 7 - 15011 Acqui Terme (AL)
tel.: 0144-321225 fax 0144-980163
cell:348-5835102 E-mail: studio@geolorsi.it
pec geolorsi@pec.it

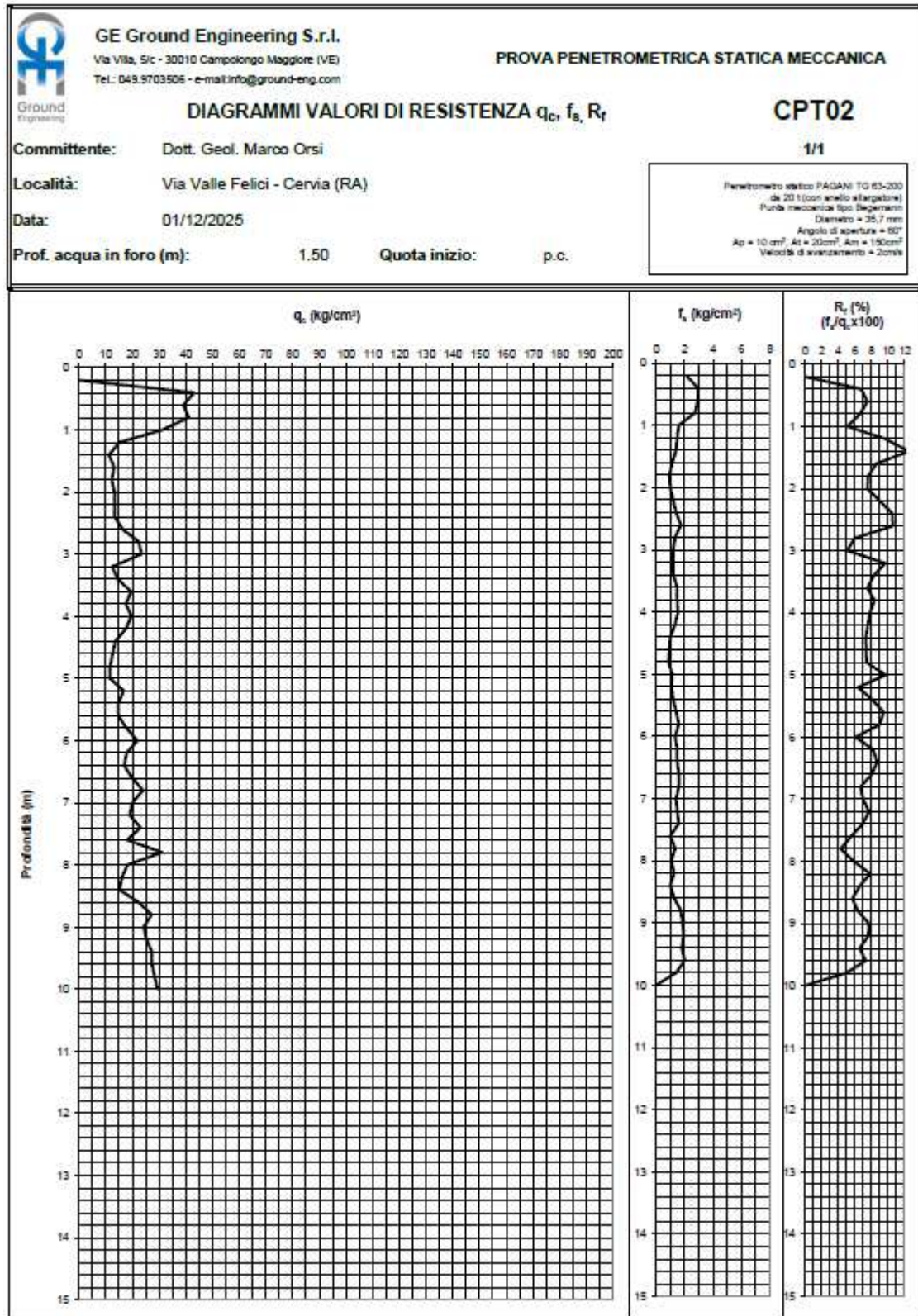


Acqui Terme, aprile 2026

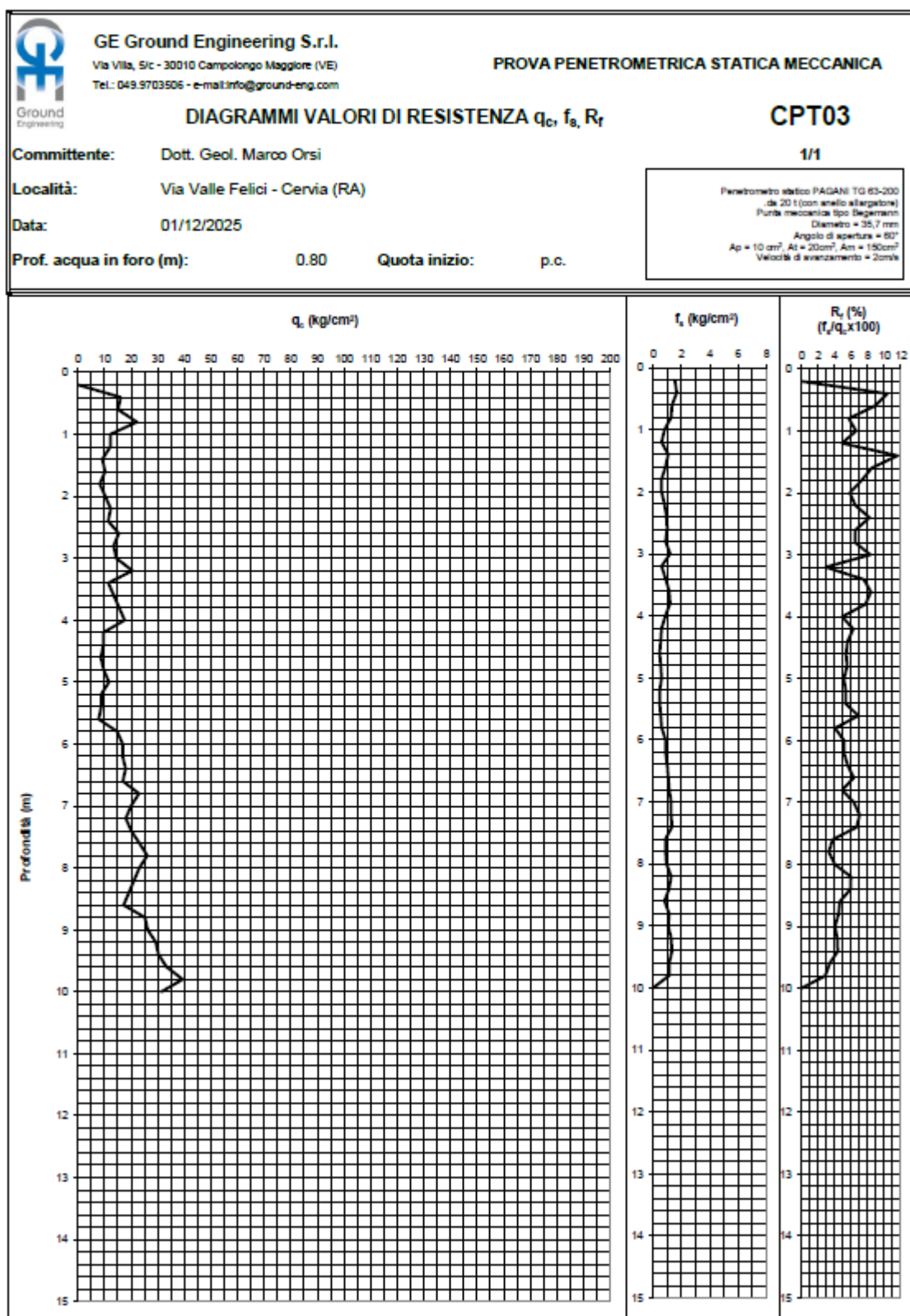
CPT n.1



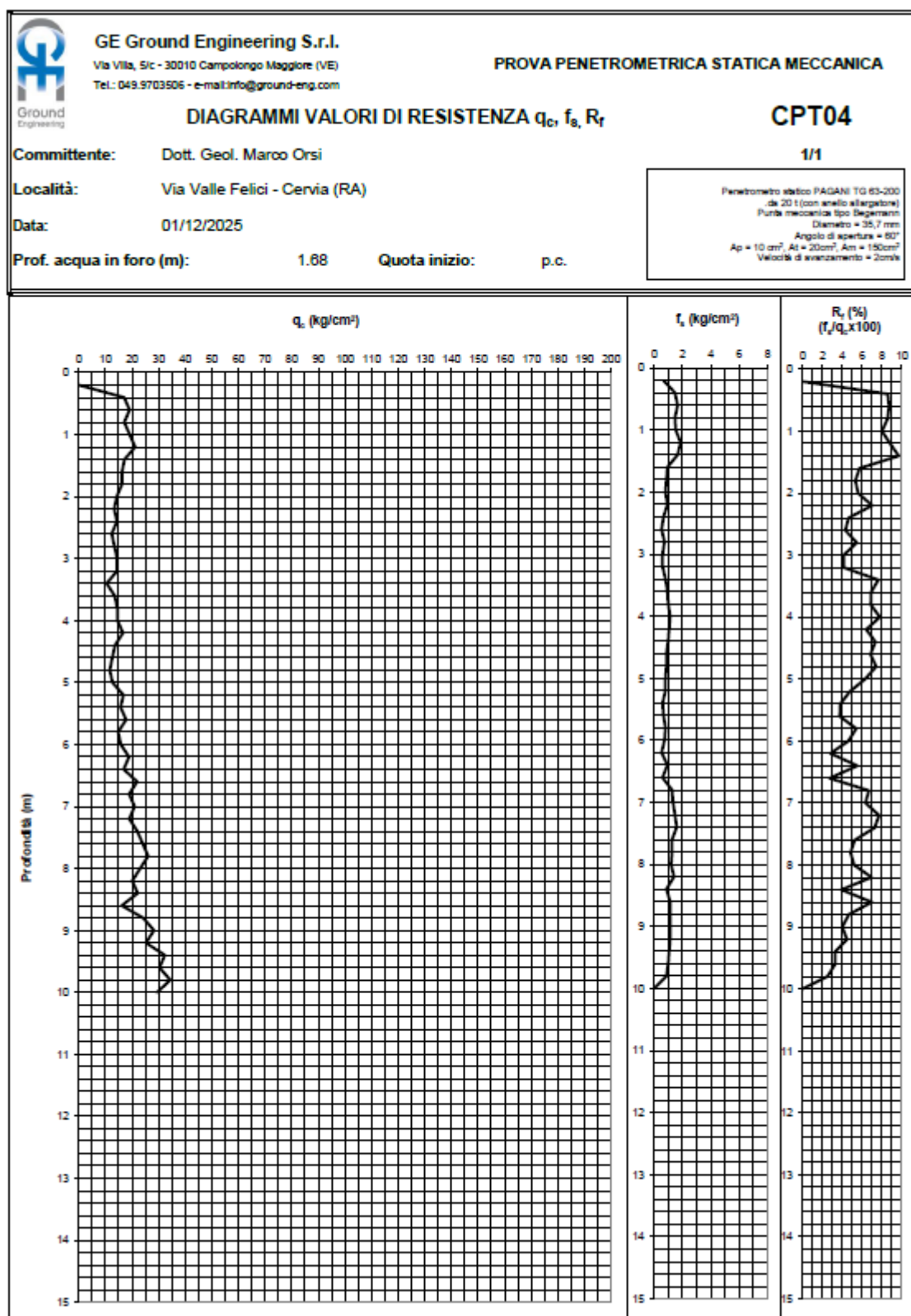
CPT n.2



CPT n.3



CPT n.4



Allegato 2 – Sondaggi Sismici Verticali

M25B CERVIA SSV, SSV1

Instrument: TEB-0830/01-22

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 89

Start recording: 05/12/2025 11:40:00 End recording: 05/12/2025 11:50:00

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; wless trig.

GPS data not available

Trace length: 0h10'00". Analyzed 40% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

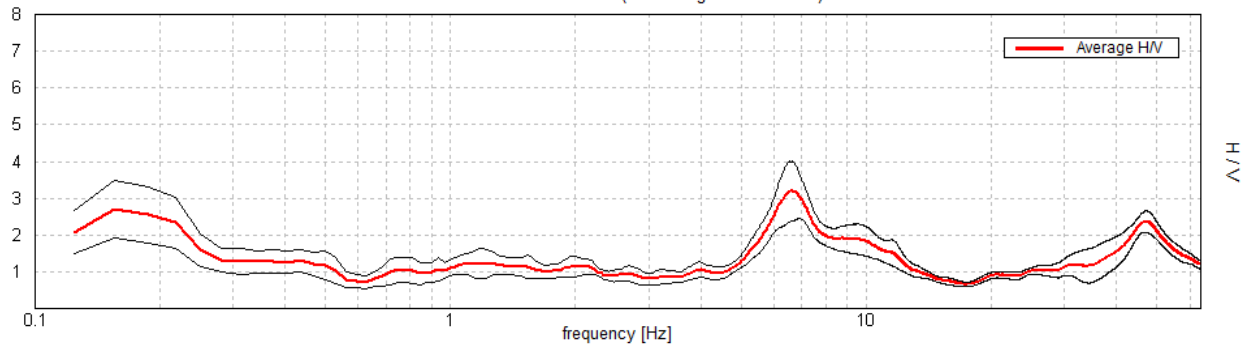
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

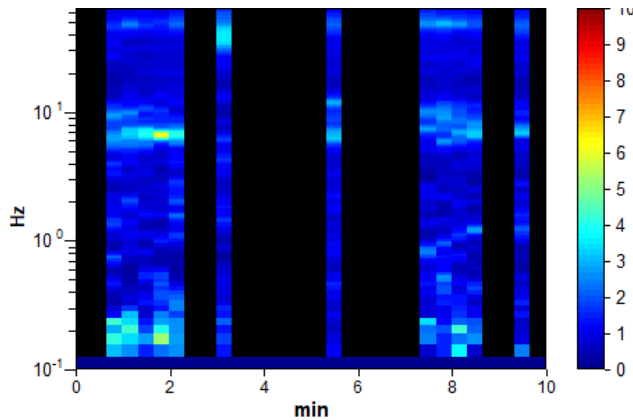
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

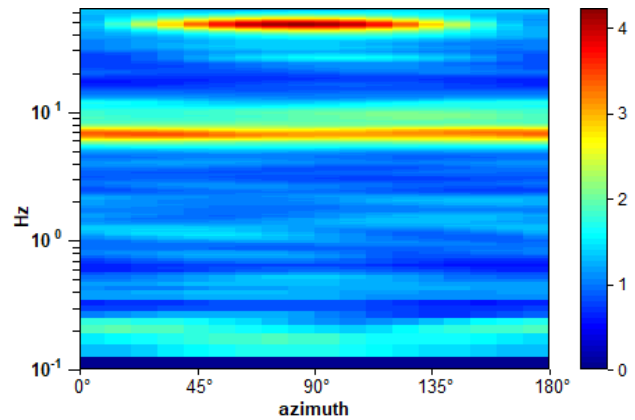
Max. H/V at 6.63 ± 3.21 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



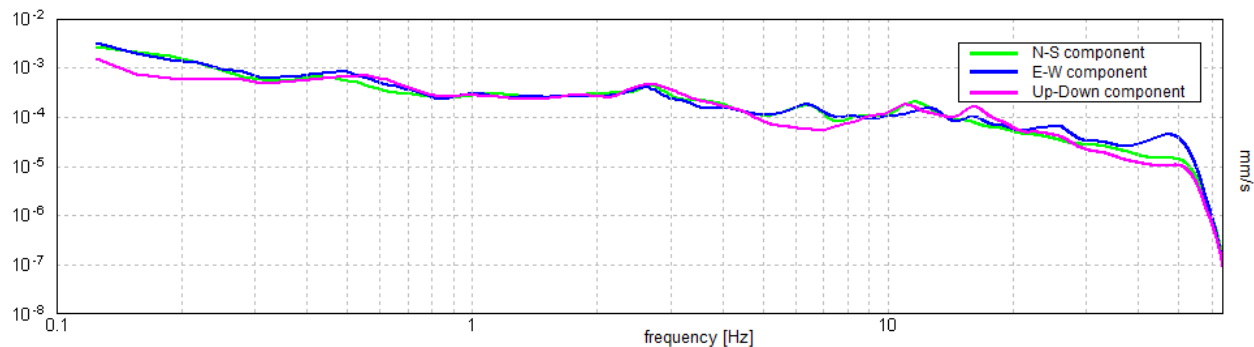
H/V TIME HISTORY



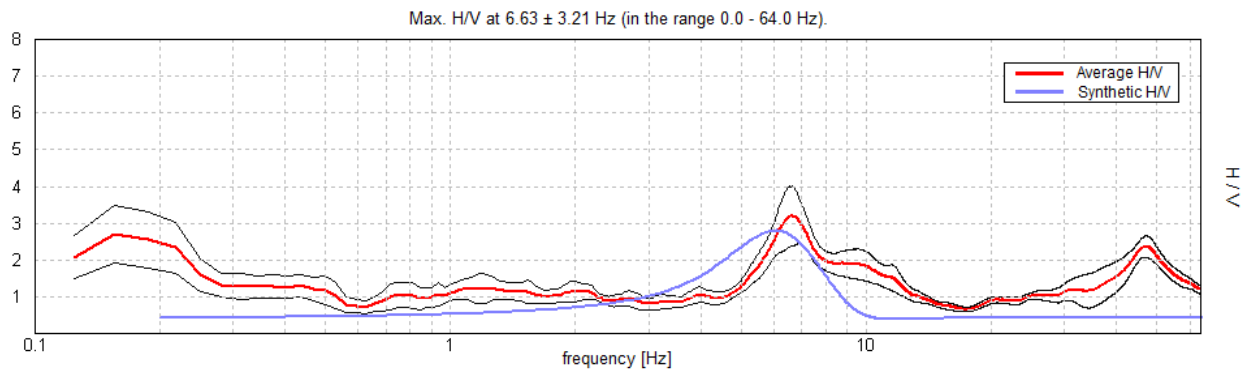
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

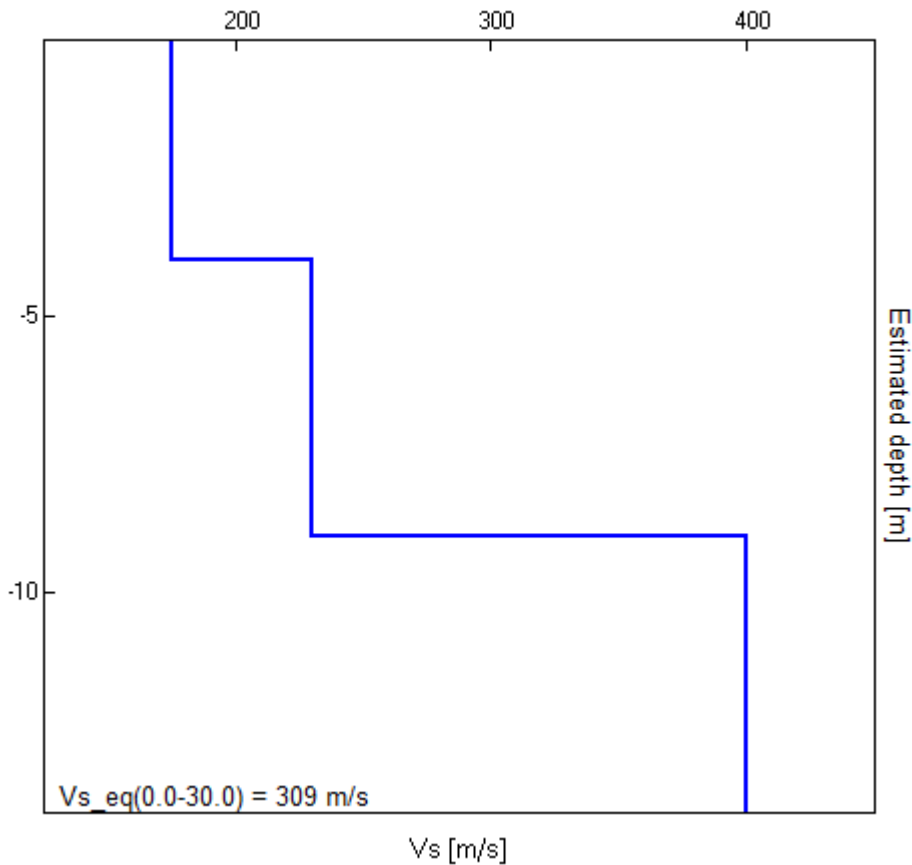


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	175	0.42
9.00	5.00	230	0.42
inf.	inf.	400	0.42

$V_{s_eq}(0.0-0.0) = \text{m/s}$



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

Max. H/V at 6.63 ± 3.21 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1590.0 > 200$	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 319 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.25 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	10.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.20 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.48519 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3.21439 < 0.33125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8152 < 1.58$	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

M25B CERVIA SSV, SSV2

Instrument: TEB-0830/01-22

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 89

Start recording: 05/12/2025 12:07:03 End recording: 05/12/2025 12:17:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; wless trig.

GPS data not available

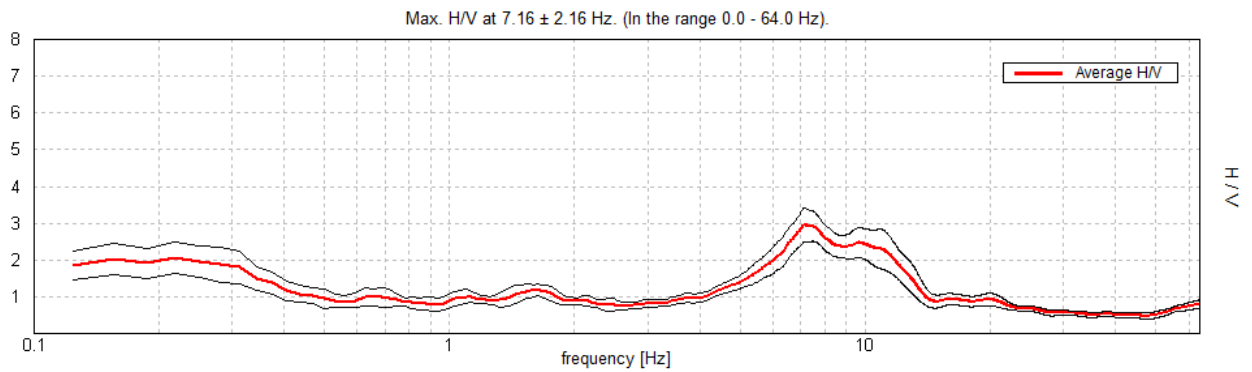
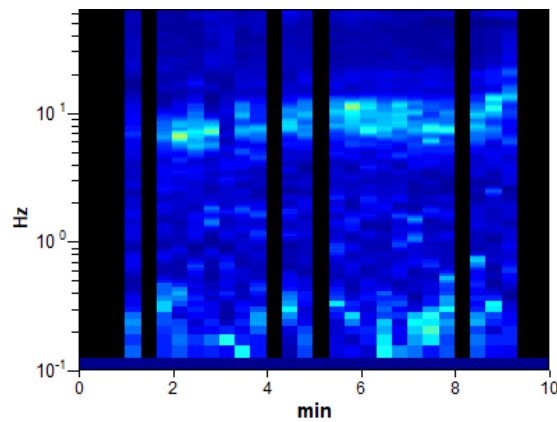
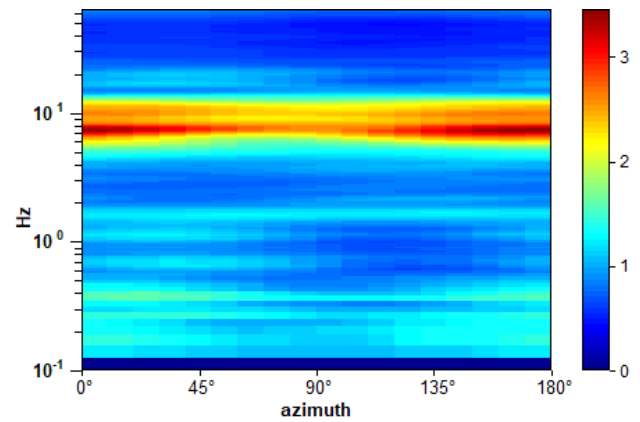
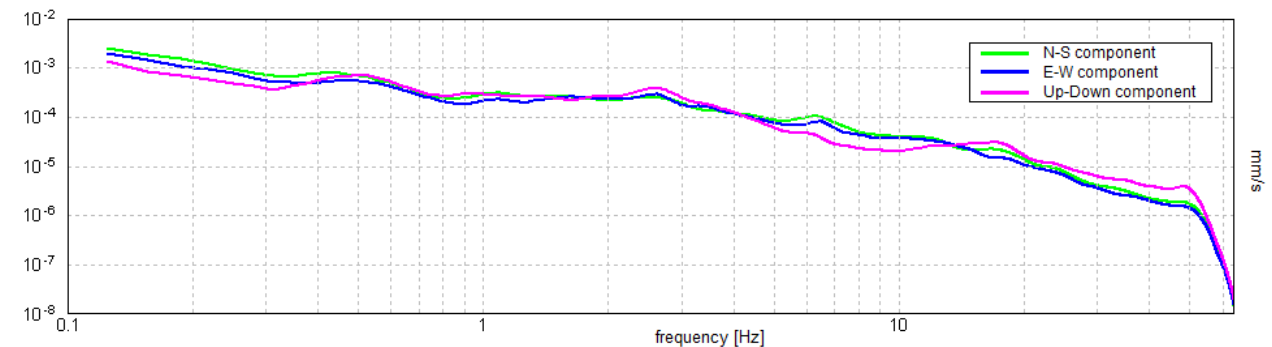
Trace length: 0h10'00". Analyzed 70% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**H/V TIME HISTORY****DIRECTIONAL H/V****SINGLE COMPONENT SPECTRA**

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

Max. H/V at 7.16 ± 2.16 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$7.16 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3005.6 > 200$	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 345 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.125 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	13.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.96 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.30135 < 0.05$		NO
$s_f < e(f_0)$	$2.15651 < 0.35781$		NO
$s_A(f_0) < q(f_0)$	$0.4584 < 1.58$	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
s_f	standard deviation of H/V peak frequency
$e(f_0)$	threshold value for the stability condition $s_f < e(f_0)$
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 $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$s_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $s_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$s_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$q(f_0)$	threshold value for the stability condition $s_A(f) < q(f_0)$

Threshold values for s_f and $s_A(f_0)$

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

M25B CERVIA SSV, SSV3

Instrument: TEB-0830/01-22

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 89

Start recording: 05/12/2025 12:36:09 End recording: 05/12/2025 12:46:09

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; wless trig.

GPS data not available

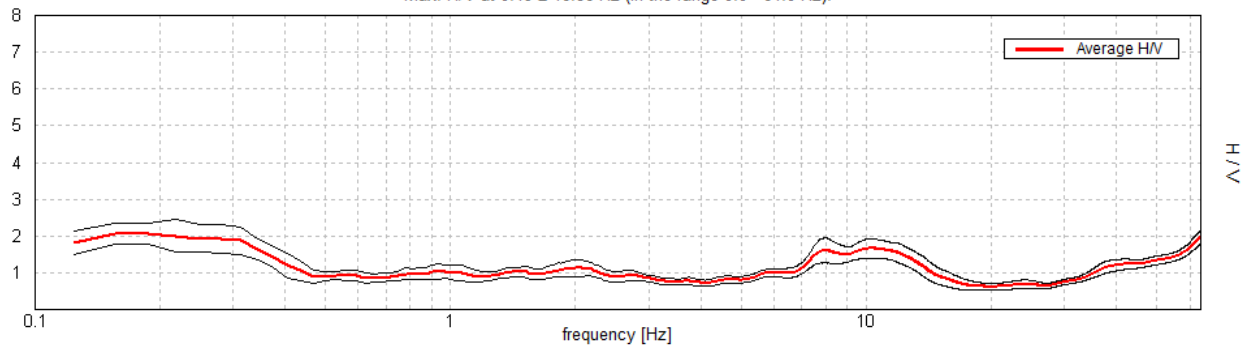
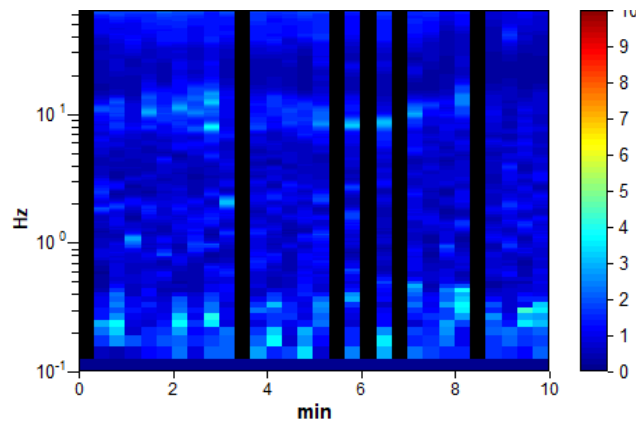
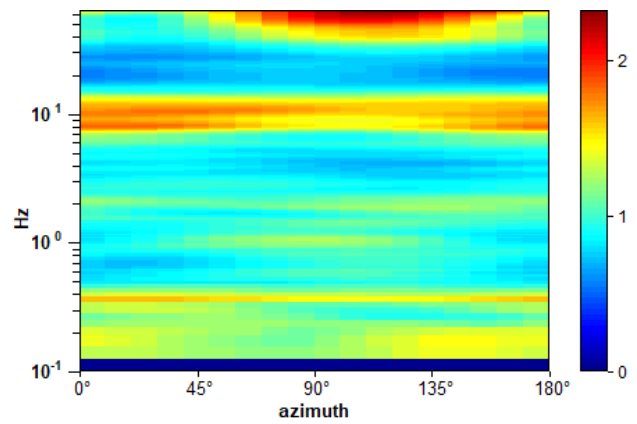
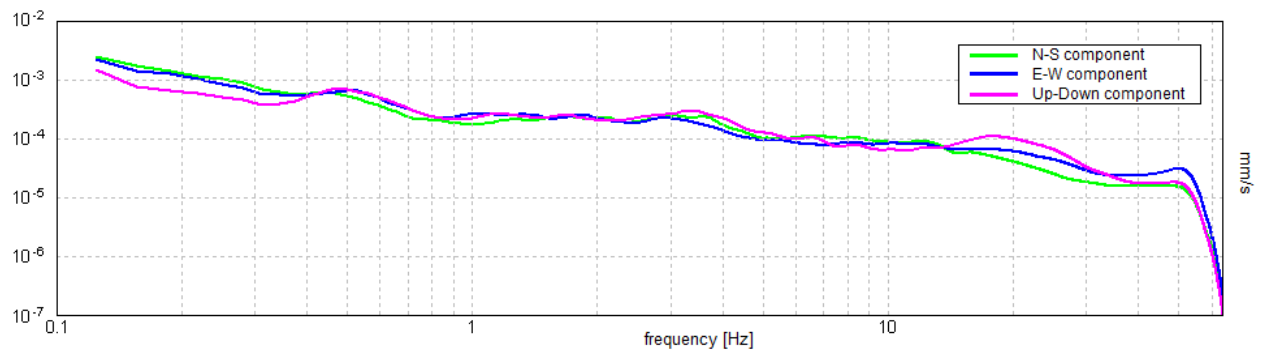
Trace length: 0h10'00". Analyzed 80% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIOMax. H/V at 0.19 ± 46.86 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**H/V TIME HISTORY****DIRECTIONAL H/V****SINGLE COMPONENT SPECTRA**

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

Max. H/V at 0.19 ± 46.86 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.19 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$90.0 > 200$		NO
$\sigma_A(f) < 2$ 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 10 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.08 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 249.9449 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$46.86466 < 0.04688$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2902 < 3.0$	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

M25B CERVIA SSV, SSV4

Instrument: TEB-0830/01-22

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 89

Start recording: 05/12/2025 13:02:25 End recording: 05/12/2025 13:12:25

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; wless trig.

GPS data not available

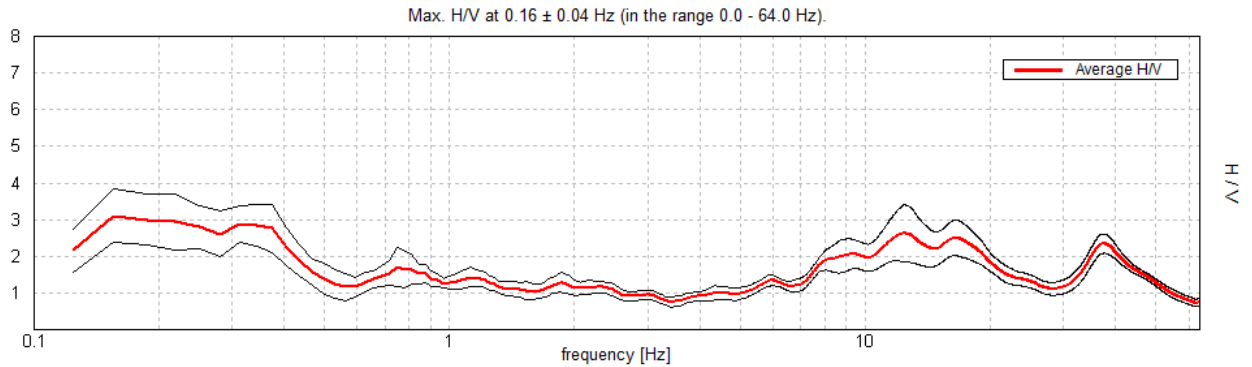
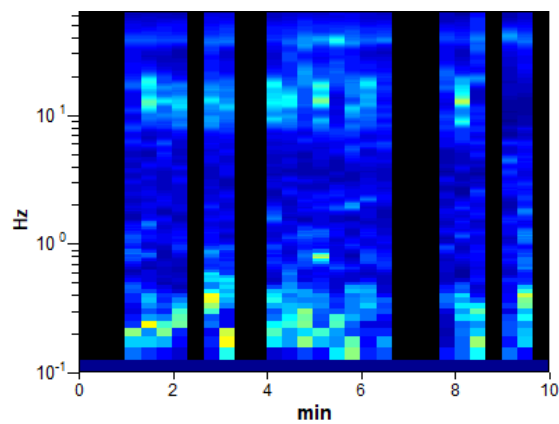
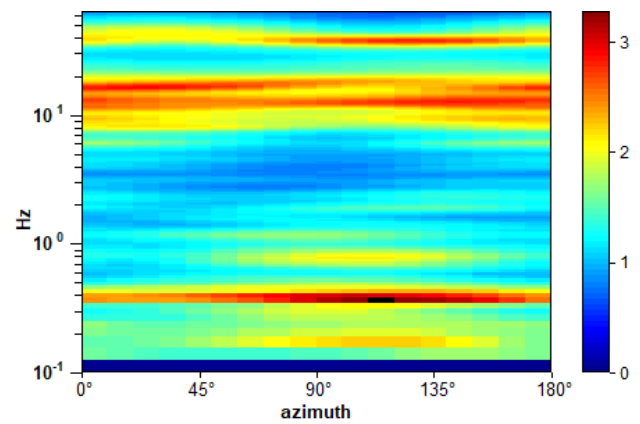
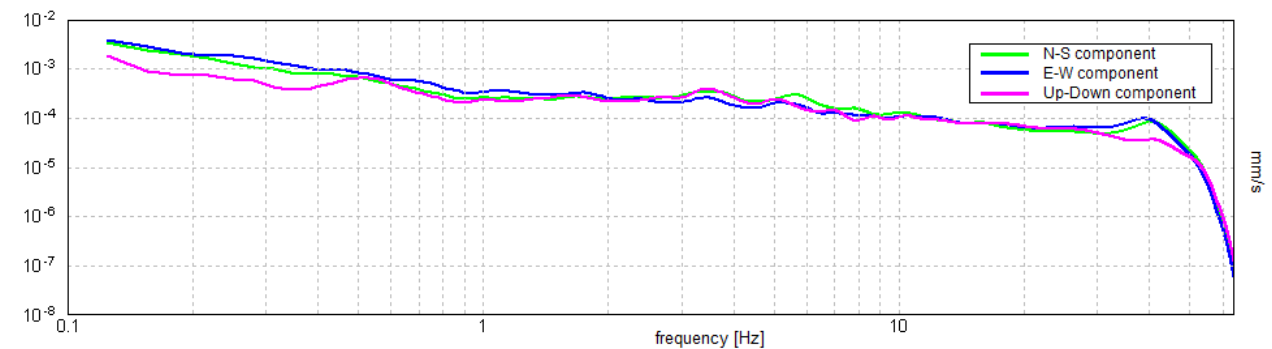
Trace length: 0h10'00". Analyzed 63% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**H/V TIME HISTORY****DIRECTIONAL H/V****SINGLE COMPONENT SPECTRA**

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

Max. H/V at 0.16 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.16 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$59.4 > 200$		NO
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 9 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.11 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.2791 < 0.05$		NO
$s_f < e(f_0)$	$0.04361 < 0.03906$		NO
$s_A(f_0) < q(f_0)$	$0.7167 < 3.0$	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
s_f	standard deviation of H/V peak frequency
$e(f_0)$	threshold value for the stability condition $s_f < e(f_0)$
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 $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$s_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $s_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$s_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$q(f_0)$	threshold value for the stability condition $s_A(f) < q(f_0)$

Threshold values for s_f and $s_A(f_0)$

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

Allegato 3 - Indagini eseguite foto



Foto 1- SCPT 1



Foto 2 - SCPT 2



Foto 3 - SCPT 3



Foto 4 - SCPT 4