





Regione Emilia Romagna Comune di Ravenna (RA) Località Campiano




Impianto AgroZootecnico-Voltaico Campiano

Progetto per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico avanzato di tipo zootecnico della potenza complessiva di 60 MW, sito nel Comune di Ravenna, Località Campiano e relative opere connesse.

Progettista  consulenza & ingegneria esperienza per l'ambiente	Ambiente S.p.A. Via C. Colombo 149, 00147 Roma (RM) Italia P.IVA e C.F. 00202540453 Tel. +39 06 45678751 Web: www.ambientesc.it						
	0	11-04-2025	Emisione	E. Martini	F. Pica	F. Pica	
	Revisione	Data	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato	

Proponente Campiano Solar S.r.l. a company of 	Campiano Solar S.r.l. Via Brigata Ebraica 50, 48123 Mezzano (RA) Italia P.IVA e C.F. 02754580393 Tel. +39 0544 525311 Fax. +39 0544 525319 PEC: campianosolar@legaimail.it Web: www.tozzigreen.com						
	0	11-04-2025	Emisione	C. Cionetti	C. Melli		
	Revisione	Data	Descrizione	Verificato	Approvato		

EMESSO PER	TITOLO	SCALA	COMMESSA	
<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIVO	Relazione Geologica-Idrogeologica-Geotecnica	-	IT020BD046	
<input type="checkbox"/> COSTRUZIONE		FILE	FOGLIO	FORMATO
<input type="checkbox"/> AS BUILT		TGR-02-REL-015	1/1	A4
<input type="checkbox"/> INFORMAZIONE	FIRMA PROGETTISTA FIRMA PROPONENTE 		DOCUMENTO N.°	
			IT020BD046-TGR-02-REL-015	



Sommario

1. PREMESSA.....	5
2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	6
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	7
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	8
4.1 GEOLOGIA DELL'AREA.....	8
4.2 GEOMORFOLOGIA E IDROGRAFIA SUPERFICIALE.....	12
4.3 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	14
4.4 IDROGEOLOGIA	14
5. ELEMENTI DI RISCHIO IDRAULICO-IDROGEOLOGICO	18
5.1 PAI (PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO).....	18
5.2 PGRA (PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI)	22
6. INQUADRAMENTO SISMICO.....	28
6.1 PERICOLOSITA' SISMICA	30
7. INDAGINI ESEGUITE.....	33
7.1 PROVE CPT.....	34
7.1.1 RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA.....	37
7.2 INDAGINE GEOFISICA	37
7.2.1 SISMICA A RIFRAZIONE	37
7.2.2 ELABORAZIONE DEI PROFILI A RIFRAZIONE	39
7.2.3 INDAGINE SISMICA ATTIVA TIPO MASW	40
7.2.4 INDAGINE SISMICA PASSIVA TIPO HVSR.....	43
7.2.5 DESCRIZIONE DEI RISULTATI – MASW 1	45

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



7.2.6	DESCRIZIONE DEI RISULTATI – MASW 2	48
7.2.7	DESCRIZIONE DEI RISULTATI – HVSR.....	51
8.	PARAMETRI SISMICI DI BASE.....	54
9.	IDENTIFICAZIONE DI VINCOLI GEOTECNICI E DELLE POTENZIALI PROBLEMATICHE.....	56
9.1	VALUTAZIONE DEI RISCHI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI	57
8.1	INDIRIZZI PER LA PROGETTAZIONE CIVILE	58
10.	BIBLIOGRAFIA	61

Figure:

<i>Figura 1 – Ubicazione dell'area di progetto e del cavidotto in rosso (fonte Google Earth)...</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2 – Schema stratigrafico dei depositi Plio-Quaternari del Bacino Padano (fonte: Regione Emilia-Romagna & Eni-Agip, 1998).....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3 – Stralcio del foglio geologico in scala 1.50.000 “Forlì – Cesena”</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4 – Stralcio della sezione geologica C-C’ del foglio geologico in scala 1.50.000 “Forlì – Cesena”</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5 – Reticolo idrografico superficiale</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6 – Profilo stratigrafico dei depositi del sistema emiliano-romagnolo (memorie descrittive del foglio geologico in scala 1.50.000 “Forlì – Cesena”</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7 – Banca dati delle perforazioni eseguite (www.ispraambiente.it).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8 – Stralcio Tavola 240 NE-240 SE – 241 NO-241 “Perimetrazione aree a rischio idrogeologico”</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9 – Stralcio Tavola 240 NE-240 SE – 241 NO-241 “Tiranti idrici di riferimento”</i>	<i>22</i>
<i>Figura 10 – Pericolosità in aree suscettibili ad allagamento reticolo idrografico (RP).....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 11 – Pericolosità in aree suscettibili ad allagamento reticolo idrografico (RSP)</i>	<i>26</i>

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



<i>Figura 12 – Classi di rischio alluvione per l'area oggetto di intervento</i>	<i>27</i>
<i>Figura 13 – Terremoti di magnitudo ML > 2 registrati dalla Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 30 sett. 2013 (www.ingv.it).....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 14 – Strutture sismogenetica nel territorio dell'Emilia-Romagna (www.ingv.it)</i>	<i>29</i>
<i>Figura 15 – Numero di eventi riportati nel comune di Ravenna dall'anno 100 al 2020 (https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/)</i>	<i>29</i>
<i>Figura 16 – Classificazione sismica della Regione Emilia - Romagna.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 17 –Classificazione sismica della Regione Emilia - Romagna miche.mi.ingv.it (MPS04-S1).....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 18 – Ubicazione delle indagini eseguite.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 19 –Diagrammi di resistenza CPT1</i>	<i>35</i>
<i>Figura 20 –Diagrammi di resistenza CPT2</i>	<i>36</i>
<i>Figura 21 –Percorso teorico dei raggi sismici (ray tracing) tomografia sismica LS1</i>	<i>39</i>
<i>Figura 22 –Percorso teorico dei raggi sismici (ray tracing) tomografia sismica LS2</i>	<i>39</i>
<i>Figura 23 – Interpretazione della Tomografia Sismica LS1</i>	<i>40</i>
<i>Figura 24 – Interpretazione della Tomografia Sismica LS2</i>	<i>40</i>
<i>Figura 25 – Schema di funzionamento di indagine tipo MASW</i>	<i>43</i>
<i>Figura 26 – Spettro di acquisizione di frequenza – MASW 1.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 27 – Modello di sottosuolo – MASW 1.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 28 – Spettro di acquisizione di frequenza – MASW 2.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 29 – Modello di sottosuolo – MASW 2.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 30 – Risultato HVSR</i>	<i>53</i>
<i>Figura 31 – Categorie topografiche – NTC2018.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 32 – Parametri sismici di base</i>	<i>55</i>

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



<i>Figura 33: Tipologico fondazione pali infissi</i>	<i>58</i>
<i>Figura 34: Tipologico fondazione zavorre in calcestruzzo</i>	<i>59</i>
<i>Figura 35: Tipologico pannelli</i>	<i>59</i>
<i>Figura 36: Cabina di trasformazione</i>	<i>60</i>
<i>Figura 37: Cabina di controllo</i>	<i>60</i>

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



1. PREMESSA

Ambiente S.p.A. (Ambiente), su incarico di Campiano Solar S.r.l., ha elaborato il presente documento “Relazione Geologica-Idrogeologica-Geotecnica” per il progetto di installazione di un impianto agrivoltaico avanzato zootecnico ubicato nel territorio del comune di Ravenna, in località Campiano. L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza nominale pari a 60 MWp.

La presente relazione, sintesi e compendio dei dati disponibili e quelli provenienti dalle indagini eseguite appositamente nell'area di intervento, è finalizzata alla definizione dell'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico del sito, con particolare riguardo alla definizione delle caratteristiche litostratigrafiche ed alle proprietà fisico meccaniche dei terreni coinvolti dalle opere in progetto, per la valutazione della fattibilità dell'intervento sulla base del modello geologico, sismico e geotecnico preliminare dell'area, necessario alla successiva progettazione esecutiva delle nuove opere di fondazione e strutturali. Tale documento è stato redatto sulla base delle informazioni bibliografiche disponibili e a seguito delle indagini che sono state eseguite nell'area di studio.

Nello specifico, nel presente documento si riporta:

- descrizione sintetica del progetto;
- inquadramento territoriale;
- inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico;
- risultati delle indagini eseguite;
- analisi dei risultati e indicazioni propedeutiche finalizzate alla successiva fase progettuale.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L'impianto sarà del tipo grid-connected e l'energia elettrica prodotta sarà riversata in rete, con allaccio in alta tensione a 30 kV in modalità trifase. Considerando che la tecnologia fotovoltaica è in rapido sviluppo, dal momento della progettazione definitiva alla realizzazione dell'impianto le caratteristiche delle componenti principali (moduli fotovoltaici, inverter, strutture di supporto, etc.) potranno non essere più disponibili sul mercato e quindi potranno essere impiegate nella realizzazione tecnologie disponibili e più all'avanguardia, lasciando invariate le caratteristiche complessive e principali dell'intero impianto, sia in termini di potenza massima di produzione che di occupazione del suolo.

Di seguito si riporta la denominazione, potenza nominale di picco (DC) e potenza di immissione in rete (AC) dell'impianto agrivoltaico avanzato oggetto della presente relazione illustrativa:

DENOMINAZIONE IMPIANTO	Campiano
POTENZA NOMINALE DC (MW_p)	60
POTENZA IN IMMISSIONE AC (MW_{ac})	60

L'impianto verrà collegato in antenna a 132 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 132 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 132 kV “Ravenna Alaggio – Savio”, previo potenziamento/rifacimento della direttrice RTN a 132 kV “Ravenna Sud – Ravenna Alaggio – Savio – Cervia” e il superamento di eventuali elementi limitanti nelle Cabine Primarie interessate.

Per tutte le informazioni sul progetto si rimanda al documento TGR-02-REL-001 – Relazione generale

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito di interesse è ubicato nel comune di Ravenna, in località Campiano; in particolare, l'area del presente studio ricade in corrispondenza della Strada statale 3 bis Tiberina (S.S. 3 bis) e viene attraversata nella parte mediana da Via Dismano.

L'area di impianto, avente una superficie estesa per una lunghezza complessiva di c.a. 2 km è delimitata a sud e ad est da Via Masullo.

Le opere in progetto prevedono l'installazione di moduli fotovoltaici su di un lotto di terreno che si estende per circa 887.000 m², in un contesto periferico residenziale, produttivo e rurale.

L'area risulta attualmente coltivata ad una quota di c.a. 0 metri sul livello del mare e le coordinate baricentriche dell'area sono in WGS 84: 44°20'29.19" di latitudine nord e 12°13'7.20" di longitudine est.



Figura 1 – Ubicazione dell'area di progetto e del cavidotto in rosso (fonte Google Earth)

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

4.1 GEOLOGIA DELL'AREA

I caratteri geologici che definiscono la Pianura Padana traggono principalmente origine dagli studi di sismica a riflessione condotti da AGIP, che hanno evidenziato la presenza di depositi di età plio-quadernaria costituenti il riempimento del bacino di avansfossa compreso tra la catena appenninica a Sud e quella alpina a Nord. Lo spessore complessivo delle unità quadernarie risulta di circa 1.000÷1.500 m. L'evoluzione sedimentaria plio-quadernaria del bacino registra una 'tendenza regressiva' da depositi marini di ambiente progressivamente sempre meno profondo fino a depositi continentali. Si identificano quindi due distinti cicli sedimentari, uno marino (indicato in letteratura con 'Qm') ed uno continentale ('Qc'); tale tendenza risulta ben riconoscibile al margine appenninico (Ricci Lucchi et al., 1982). Recentemente gli studi condotti dalla Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), basati sui profili sismici integrati da dati stratigrafici di pozzi profondi, hanno permesso di identificare la superficie di discontinuità tra i due cicli sedimentari anche nel sottosuolo della Pianura Padana, in corrispondenza del limite tra il Supersistema del Quadernario Marino (corrispondente al ciclo Qm) e il sovrastante Supersistema Emiliano-romagnolo (ciclo Qc). All'interno di queste due unità sono state riscontrate da vari autori discontinuità minori, che portano alla distinzione di sequenze deposizionali di rango inferiore all'interno dei due cicli sedimentari, come riportato nella figura seguente.

Facendo riferimento allo studio della Regione Emilia-Romagna & ENI-Agip (1998), si riconoscono nel Supersistema Emiliano-Romagnolo, caratterizzato da uno spessore complessivo di circa 600÷700 m, due unità allostratigrafiche definite come Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore e Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore. All'interno

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



di quest'ultima sono presenti unità di rango inferiore (Allomembri) che registrano la ciclicità elementare.

Supersintema Emiliano-Romagnolo:

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di Ricci Lucchi et al, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi, nell'area in esame, includono depositi alluvionali che passano verso Est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico. Il limite inferiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo non affiora nell'area di studio, ma affiora solamente a ridosso del margine appenninico, dove è fortemente discordante sui depositi marini del Pleistocene medio (sabbie di Imola - IMO) e mio-pliocenici. Il limite superiore coincide col piano topografico. L'età dell'unità è Pleistocene medio – attuale (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore (AES):

Costituisce la porzione superiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo. Nell'area di pianura comprende tutti i depositi continentali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di alcune decine di metri di spessore. Nel sottosuolo l'Alloformazione appoggia localmente in discontinuità stratigrafica sull'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inf. ed è suddivisibile in quattro cicli deposizionali. Il limite superiore corrisponde all'attuale superficie topografica. L'età è attribuibile al Pleistocene medio-Olocene. La porzione più investigata dell'alloformazione è rappresentata dai 120 m sommitali: al di sotto dei sedimenti litorali, localmente affioranti, di età olocenica, attribuibili all'ultimo episodio trasgressivo quaternario (Allomembro di Ravenna), i primi depositi litorali e marini che si incontrano verso il basso stratigrafico sono rappresentati da un corpo tabulare alla profondità di circa -100 m s.l.m., costituito da sabbie litorali e subordinatamente da argille di prodelta e transizione alla piattaforma. Al di sopra di questi sedimenti marini sono

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

riconoscibili depositi di alcune decine di m prevalentemente argillosi di piana deltizia. La comparsa, intorno a $-50 \div -70$ m slm di corpi sabbiosi nastriformi, interpretati come depositi fluviali di valle incisa, segna il passaggio ai sedimenti alluvionali che costituiscono la porzione dell'alloformazione immediatamente sottostante all'Allomembro di Ravenna. Questo intervallo è caratterizzato da argille e limi di piana inondabile, con subordinate sabbie di canale, (Regione Emilia-Romagna, 1999).

glacioeustatica di IV ordine e che per loro natura ciclica costituiscono le unità cartografiche di riferimento.

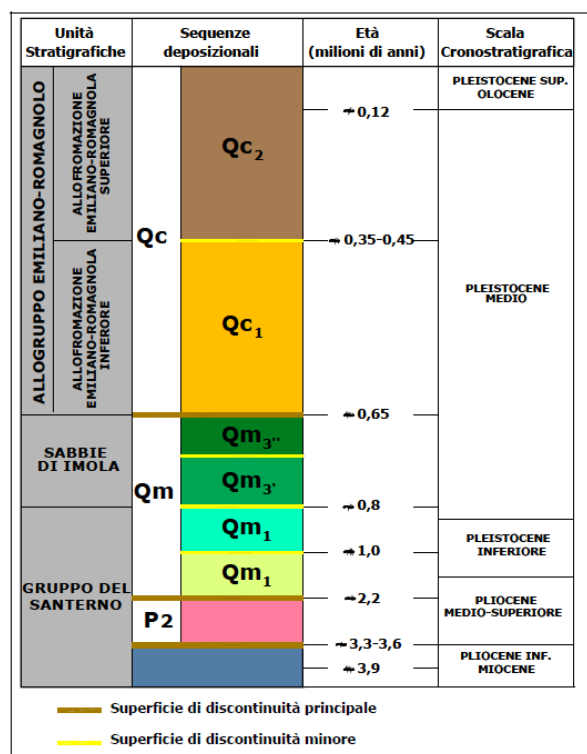


Figura 2 – Schema stratigrafico dei depositi Plio-Quaternari del Bacino Padano (fonte: Regione Emilia-Romagna & Eni-Agip, 1998)

I terreni presenti negli strati più superficiali sono il frutto di eventi geologico-deposizionali di

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

tipo alluvionale, succedutisi in epoche recenti. La distribuzione tessiturale di questi sedimenti risulta quindi in stretta connessione con la dinamica tipica degli ambienti sedimentari fluviali di pianura alluvionale. Dallo studio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 l'area di progetto ricade al margine settentrionale del Foglio n. 240-241 "Forlì - Cervia" e nella formazione de Depositi Deltizi di "Prodelta e Transazione alla Piattaforma" costituiti da: Argille e limi ricchi di materiale conchigliare, con intercalazioni di sabbie fini e finissime in strati molto sottili e sottili. Affiorano solo nel settore a mare.

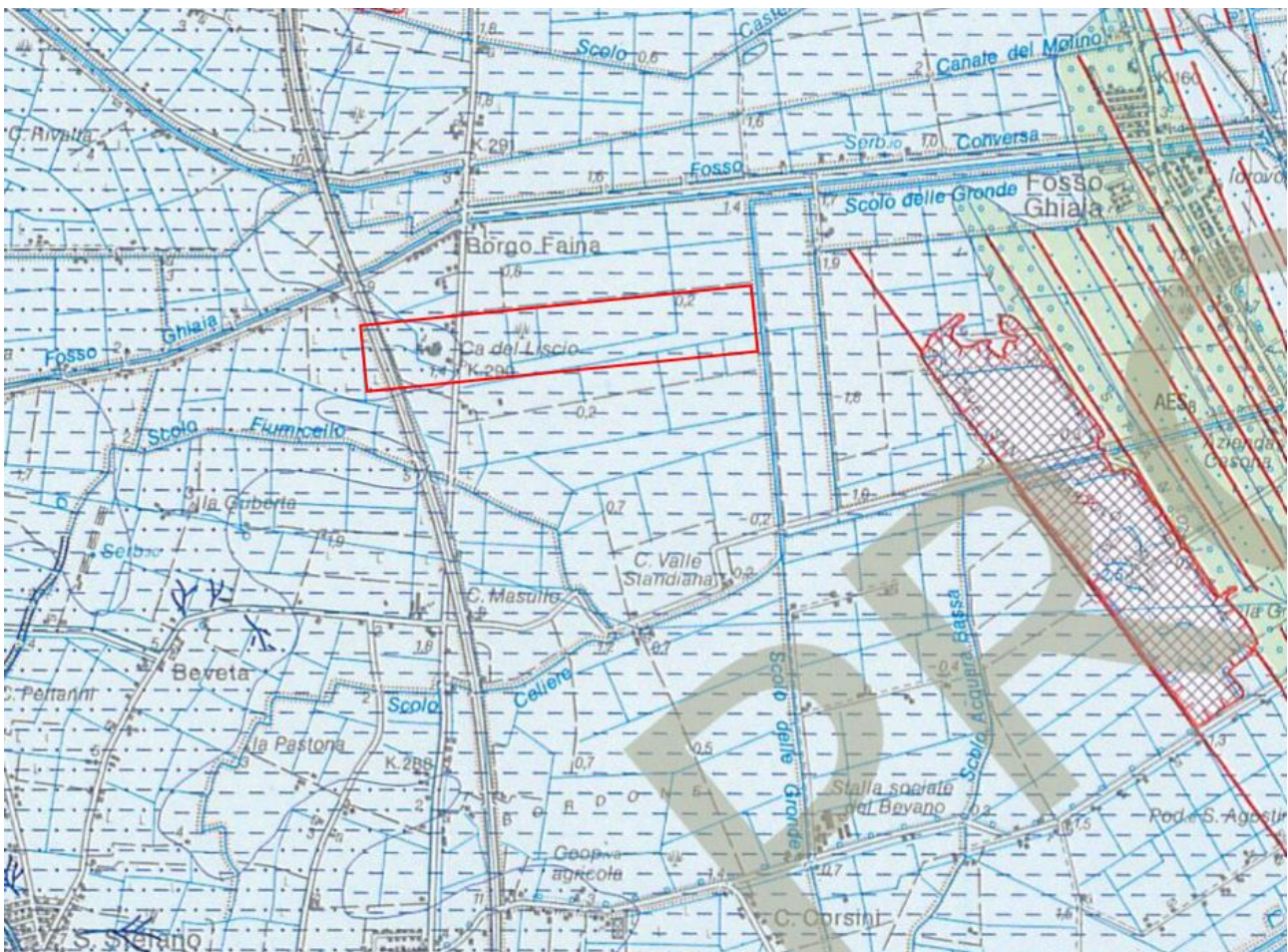


Figura 3 – Stralcio del foglio geologico in scala 1:50.000 "Forlì – Cesena"

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

Si riporta nel seguito uno stralcio della sezione geologica C-C' dalla cartografia geologica in scala 1:50.000 del foglio Forlì-Cesena che è ubicata a poca distanza in direzione sud dall'area di studio. In tale sezione è possibile vedere i rapporti strutturali delle unità dei sistemi deposizionali.

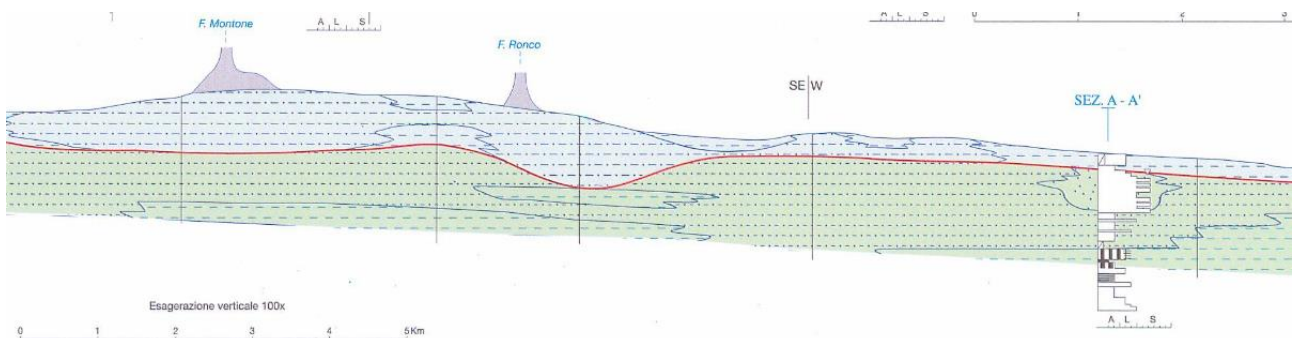


Figura 4 – Stralcio della sezione geologica C-C' del foglio geologico in scala 1.50.000 "Forlì – Cesena"

4.2 GEOMORFOLOGIA E IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Il contesto geomorfologico è strettamente connesso al modello genetico di formazione del territorio. Nel territorio di studio gli elementi morfologici maggiori e più rilevanti sono quelli legati all'evoluzione del sistema idrografico, che a sua volta viene condizionato dai caratteri climatici prevalenti e dalle condizioni geologiche del sottosuolo. Occorre inoltre considerare che il territorio ha subito nel tempo significative trasformazioni antropiche. Non è semplice quindi riconoscere e ricostruire gli allineamenti fisici e morfologici originari ed anche molti 'fenomeni ambientali' che si verificano attualmente sono di difficile interpretazione, essendo spesso dipendenti o comunque connessi all'intervento dell'uomo sull'ambiente. Tra gli agenti che concorrono all'assetto morfologico del territorio, la subsidenza, in parte di origine naturale in parte legata ai prelievi di fluido dal sottosuolo, è tra quelli attualmente attivi. Studi effettuati indicano per i dintorni dell'area di studio velocità di movimento verticale del suolo, comprese tra circa 5 e 10 mm/anno nei periodi 1999-2000 e 2002-2006.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

Il territorio di studio è occupato dai depositi tardo-quadernari della Pianura Padana. Il Piano topografico scende progressivamente verso NE fino a raggiungere il livello del mare. L'area topograficamente depressa al disotto del livello del mare è presente nella pianura costiera a ridosso di Fosso Ghiaia (Valle Standina). Il territorio di studio è interessato da un fitto reticolo di corsi d'acqua. I fiumi principali, che scorrono da SO verso NE, seguendo il gradiente topografico regionale. I fiumi principali, il Fiume Montone e il Fiume Ronco confluiscano insieme immediatamente a sud di Ravenna e formano i Fiumi Uniti. I fiumi e i canali sono confinati tramite argini, in gran parte artificiali, che diventano particolarmente elevati nel settore della bassa pianura. I corsi d'acqua secondari sono dati da una fitta rete di torrenti, fossi, scoli e canali di bonifica che drenano, in gran parte la bassa pianura nord - orientale a sud di Ravenna.



Figura 5 – Reticolo idrografico superficiale

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



4.3 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

L'area in cui ricade l'area l'impianto ricade su dei terreni agricoli in un contesto prettamente pianeggiante. Secondo quanto riportato nella tab. 3.2. IV delle NTC 2018 la caratteristica topografica dell'area risulta essere in categoria T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$).

4.4 IDROGEOLOGIA

Gli acquiferi della pianura emiliano – romagnola sono costituiti principalmente dai depositi di origine alluvionale presenti nella porzione più superficiale della pianura, per uno spessore di circa $400 \div 500$ m. e, in minima parte, da depositi marino marginali. Procedendo quindi dal margine verso nord, si trovano nell'ordine: le conoidi alluvionali, la pianura alluvionale appenninica e la pianura alluvionale e deltizia del Po.

Gli acquiferi sono presenti sia nei depositi di conoide e di pianura, che più in profondità nel sottosuolo, e possono essere suddivisi in tre grandi gruppi chiamati A, B e C (R.E.R. & ENI-AGIP 1998) separati verticalmente da strati impermeabili, e classificati in base a profondità, spessore e produttività idrica. Ogni gruppo è composto di più acquiferi minori. Le alluvioni della pianura costituiscono formazioni con importanti livelli permeabili; esse sono delimitate a monte dalle formazioni collinari decisamente impermeabili o semipermeabili ad eccezione delle zone in corrispondenza degli alvei fluviali dove le alluvioni permeabili si addentrano, restringendosi progressivamente verso monte, nelle formazioni impermeabili, costituendo con le acque fluviali e di subalveo le zone più importanti per l'alimentazione dei conoidi sotterranei. La sede dell'acquifero è costituita da un insieme di strati ghiaiosi molto dispersi, verso la pianura, entro una naturale massa di sedimenti argillosi e limosi la cui alimentazione è legata prevalentemente al subalveo dei fiumi ed alla permeabilità delle zone pedecollinari. I contenitori principali delle acque dolci, attualmente sfruttate per gli usi idropotabili, sono pertanto costituiti dai conoidi dei

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

corsi d'acqua che interessano il territorio della provincia di Ravenna, i quali, di conseguenza, risultano zone altamente vulnerabili all'inquinamento.

Si riporta nel seguito un profilo stratigrafico rappresentativo in cui è riportato l'andamento delle unità deposizionali più grossolane.

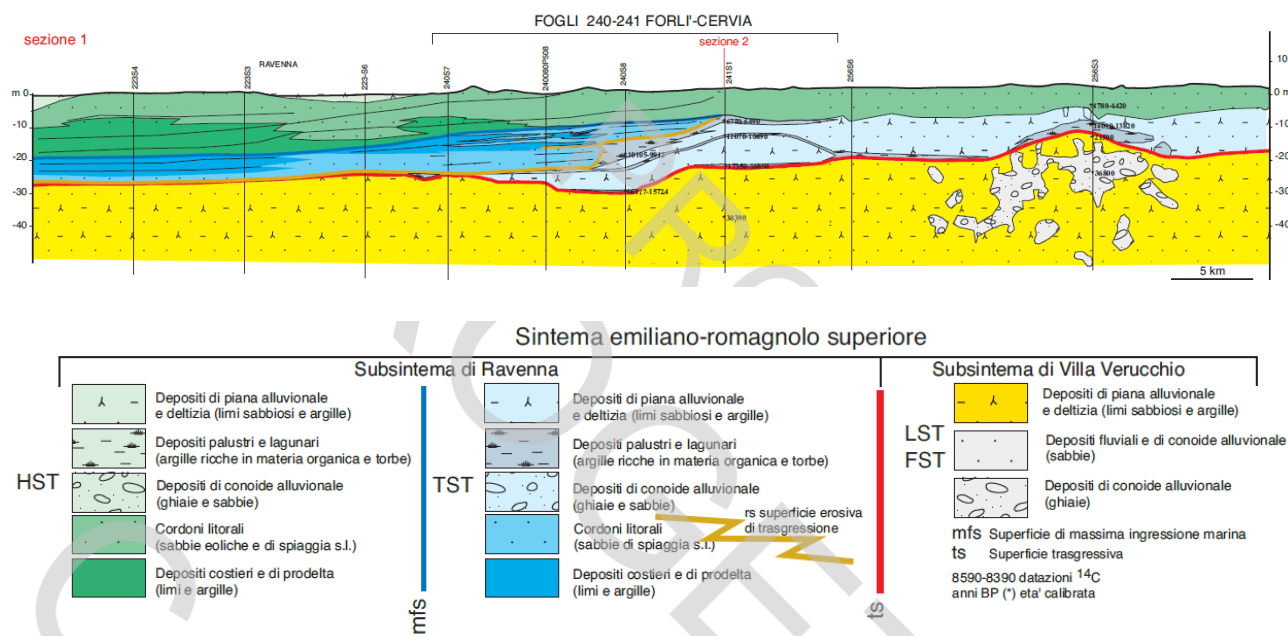


Figura 6 – Profilo stratigrafico dei depositi del sistema emiliano-romagnolo (memorie descrittive del foglio geologico in scala 1.50.000 “Forlì – Cesena”)

Si riportano nel seguito i risultati delle prove di permeabilità (Lefranc a carico variabile) eseguite in occasione della campagna geognostica nell'ambito dello studio del progetto per la realizzazione del Foglio Geologico in scala 1.50.000 “Forlì – Cesena”.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

Sondaggio	Profondità (m)	Unità stratigrafica	Tessitura	Conducibilità idraulica media (m/sec)
240-S1	10.5	AES ₇	Ghiaia in matrice sabbiosa	$3.8 \cdot 10^{-5}$
240-S1	72.5	AES ₅	Ghiaia in matrice sabbiosa	$5.7 \cdot 10^{-6}$
240-S1	141.5	AEI	Sabbia	$5.1 \cdot 10^{-6}$

Tabella 1 – Risultati delle prove di permeabilità eseguite in foro (memorie descrittive del foglio geologico in scala 1.50.000 “Forlì – Cesena”)

Dallo studio del catalogo ISPRA sui pozzi presenti nella zona di studio, acquisiti ai sensi della Legge del 4 agosto 1984 n. 464, si evince che la superficie piezometrica, in accordo con la carta idrogeologica, risulta essere ad una profondità variabile da 2 a 5 metri dal piano campagna.

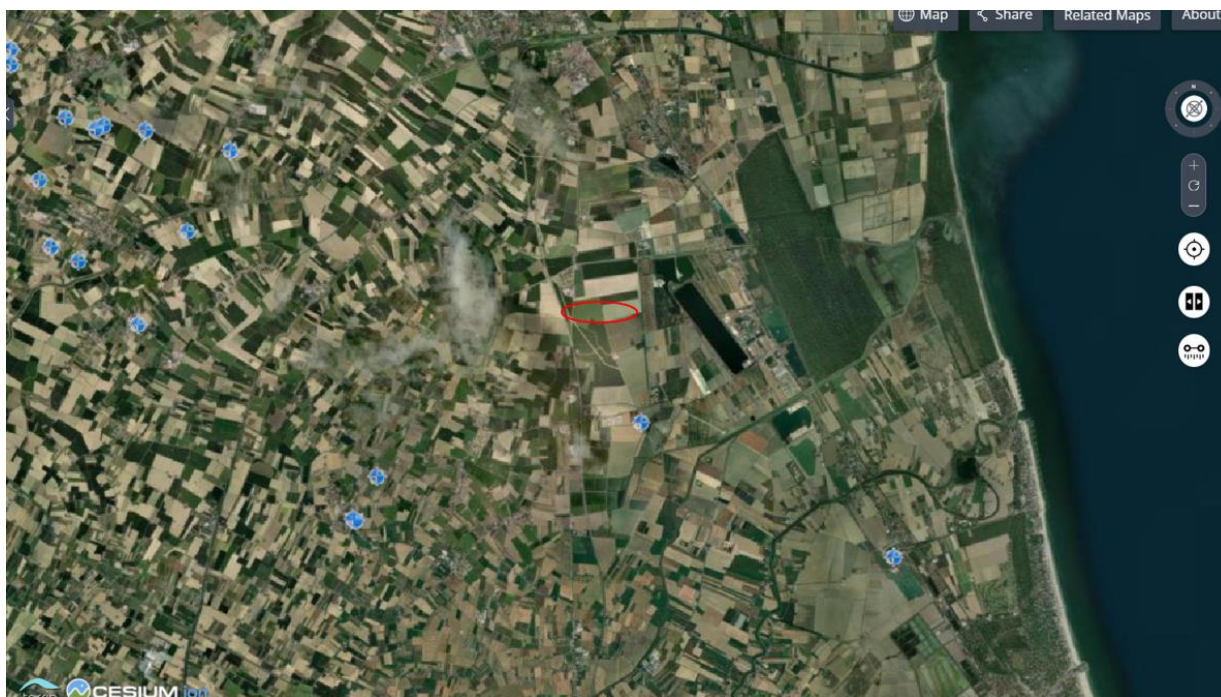


Figura 7 – Banca dati delle perforazioni eseguite (www.ispraambiente.it)

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



Le indagini eseguite nel mese di agosto 2024 hanno evidenziato la presenza di una falda idrica alla profondità variabile da – 1,7 da p.c. in corrispondenza del punto di indagine CPT 1 e a – 2,4 metri dal p.c in CPT 2. Viste le modeste profondità di scavo previste dal progetto tale aspetto non comporta criticità.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



5. ELEMENTI DI RISCHIO IDRAULICO-IDROGEOLOGICO

L'analisi del rischio idraulico ed idrogeologico è basata sull'osservazione degli strumenti di pianificazione territoriale che individuano le diverse tipologie di pericolosità.

I piani e programmi che definiscono detto quadro di riferimento sono:

- Piano di Assetto Idrogeologico (PAI);
- Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA).

5.1 PAI (PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO)

Il Piano di Assetto Idrogeologico del bacino unico regionale (P.A.I.), è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato. Esso ha valore di piano territoriale di settore e prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale. Le misure di salvaguardia pertinenti tale piano sono entrate in vigore a decorrere dal marzo 2005 e il Piano, nella sua interezza, è stato definitivamente approvato nel luglio del 2006. L'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, con Deliberazione 6/2021 del 20/12/2021, ha adottato il "Progetto di Variante al Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Po - Modifiche agli artt. 1 e 18 dell'Elaborato 7, recante "Norme di Attuazione" per il coordinamento tra il PAI stesso ed il Piano di Gestione dei Rischi di Alluvioni (PGRA). Il Piano Stralcio si pone come obiettivo la riduzione del rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti. Considerando la vastità del territorio compreso nel bacino idrografico del Po, il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) è suddiviso in:

- PAI Po;
- PAI Delta;

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



- PAI Marecchia-Conca;
- PAI Bacini Romagnoli;
- PAI Fissero-Tartaro-Canalbianco.

Il territorio comunale di Ravenna ricade nel PAI Bacini Romagnoli. I 17 febbraio 2017 con l'entrata in vigore il D.M. 25 ottobre 2016, sono state soppresse le Autorità di bacino nazionali, interregionali e regionali, e tutte le relative funzioni sono state trasferite alle Autorità di bacino distrettuali. Le Autorità di bacino interregionali del fiume Reno e del Marecchia-Conca e l'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli confluiscono pertanto nell'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po.

IL "Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico" dei Bacini Romagnoli rappresenta un testo coordinato con gli adeguamenti introdotti fino alla "Variante di coordinamento PAI-PGRA" (DGR 2112/2016), che costituisce l'ultimo aggiornamento disponibile. Il territorio comunale di Ravenna non presenta perimetrazione delle aree a rischio frana, ma elaborati grafici e tecnici per la zonizzazione delle aree a rischio idrogeologico.

Nello specifico:

- "Perimetrazione aree a rischio idrogeologico" - PAI Bacini Romagnoli - Tavola 240 NE-240 SE – 241 NO-241;
- "Tiranti idrici di riferimento per le aree di pianura sottoposte a rischio di allagamento (Art.6)" - PAI Bacini Romagnoli -Tavola 240 NE-240 SE – 241 NO-241.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

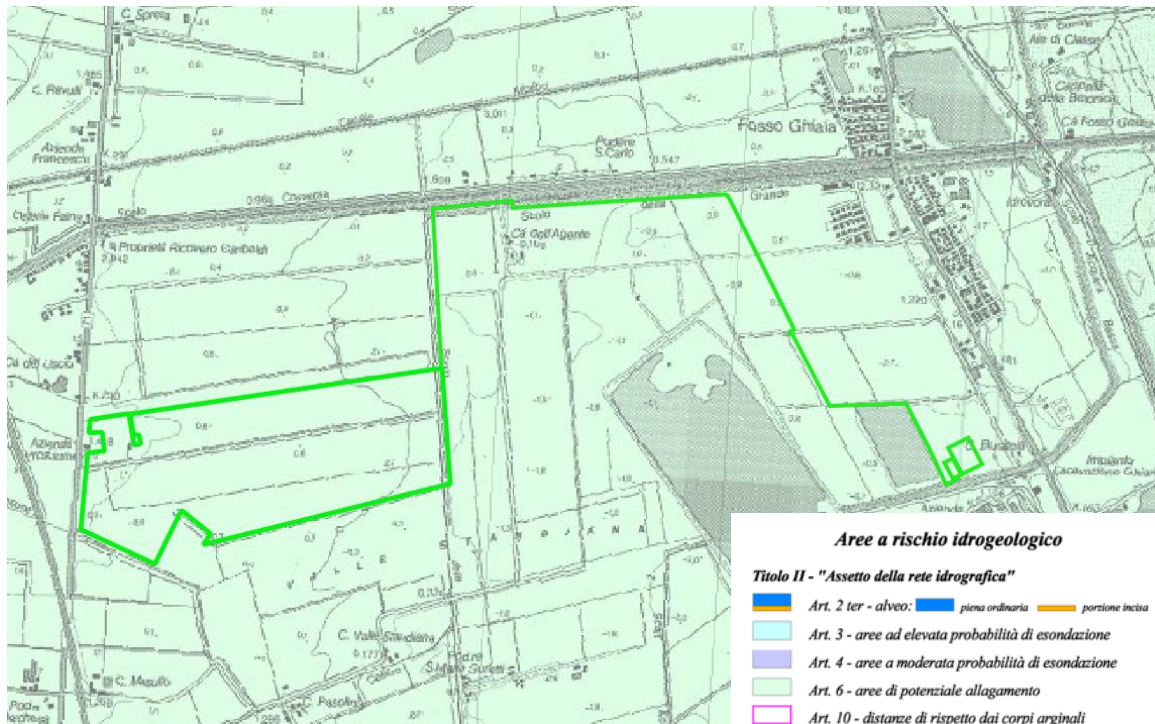


Figura 8 – Stralcio Tavola 240 NE-240 SE – 241 NO-241 “Perimetrazione aree a rischio idrogeologico”

L’area del progetto rientra all’interno dell’area art.6 “Aree di potenziale allagamento”. Per comprendere gli aspetti normativi e vincolistici che derivano dall’applicazione dell’articolo succitati, se ne riportano di seguito gli estratti del documento “Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico – Variante di coordinamento tra il Piano Gestione Rischio Alluvioni e il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico – Normativa:

Art.6- Aree di potenziale allagamento:

1. *Le aree di cui al presente articolo sono quelle nelle quali si riconosce la possibilità di allagamenti a seguito di piene del reticolo minore e di bonifica, nonché di sormonto degli argini da parte di piene dei corsi d’acqua principali di pianura, in corrispondenza di piene con tempo di ritorno non superiore ai 200 anni, senza apprezzabili effetti dinamici. Tali aree, individuate in conformità con il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni di cui alla Direttiva 2007/60/CE, sono indicate*

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



nelle tavole della Perimetrazione aree a rischio idrogeologico relative al territorio di pianura del bacino idrografico oggetto del presente piano;

- 2. Al fine di ridurre il rischio nelle aree di potenziale allagamento la realizzazione di nuovi manufatti edilizi, opere infrastrutturali, reti tecnologiche, impiantistiche e di trasporto di energia sono subordinate all'adozione di misure in termini di protezione dall'evento e/o di riduzione della vulnerabilità;*
- 3. I Comuni il cui territorio ricade nelle aree di potenziale allagamento provvedono a definire e ad applicare tali misure in sede di revisione degli strumenti urbanistici comunali vigenti, e nel caso di adozione di nuove varianti agli stessi;*
- 4. L'Autorità di Bacino definisce, con la "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003 e s. m. e i., i tiranti idrici di riferimento e fornisce indicazioni riguardo agli accorgimenti tecnico-costruttivi e ai diversi gradi di cautela da adottare in funzione dei tiranti idrici di riferimento;*
- 5. Le previsioni degli strumenti urbanistici vigenti vengono attuate tenendo conto delle indicazioni di cui al presente articolo. In particolare, in sede di approvazione dei progetti e di autorizzazione degli interventi i Comuni prescrivono l'adozione di tutti gli accorgimenti tecnico-progettuali di cui ai commi 3 e 4, necessari a evitare o limitare l'esposizione dei beni e delle persone a rischi connessi all'esondazione;*
- 6. Qualora emergano motivi per modificare le perimetrazioni delle aree di cui al presente articolo, quali modifiche morfologiche dei siti, interventi di messa in sicurezza o nuove conoscenze di tipo idrologico e idraulico o topografico, l'Autorità di Bacino apporta le necessarie varianti cartografiche al piano secondo le medesime procedure individuate ai commi 6 e 7 dell'art. 3 precedente.*

Come da punto 4 art.6, l'Autorità di Bacino ha definito i tiranti idrici di riferimento per le diverse aree di potenziale allagamento. Per tirante idrico si intende il valore dell'altezza d'acqua atteso a seguito di possibili esondazioni, misurato dall'intersezione tra piano di campagna e superficie liquida, variabile in relazione alla morfologia locale del terreno. Nella figura seguente è riportato lo stralcio con l'ubicazione dell'area di studio, della

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

tavola dei tiranti idrici di riferimento per le aree di pianura sottoposte a rischio di allagamento.

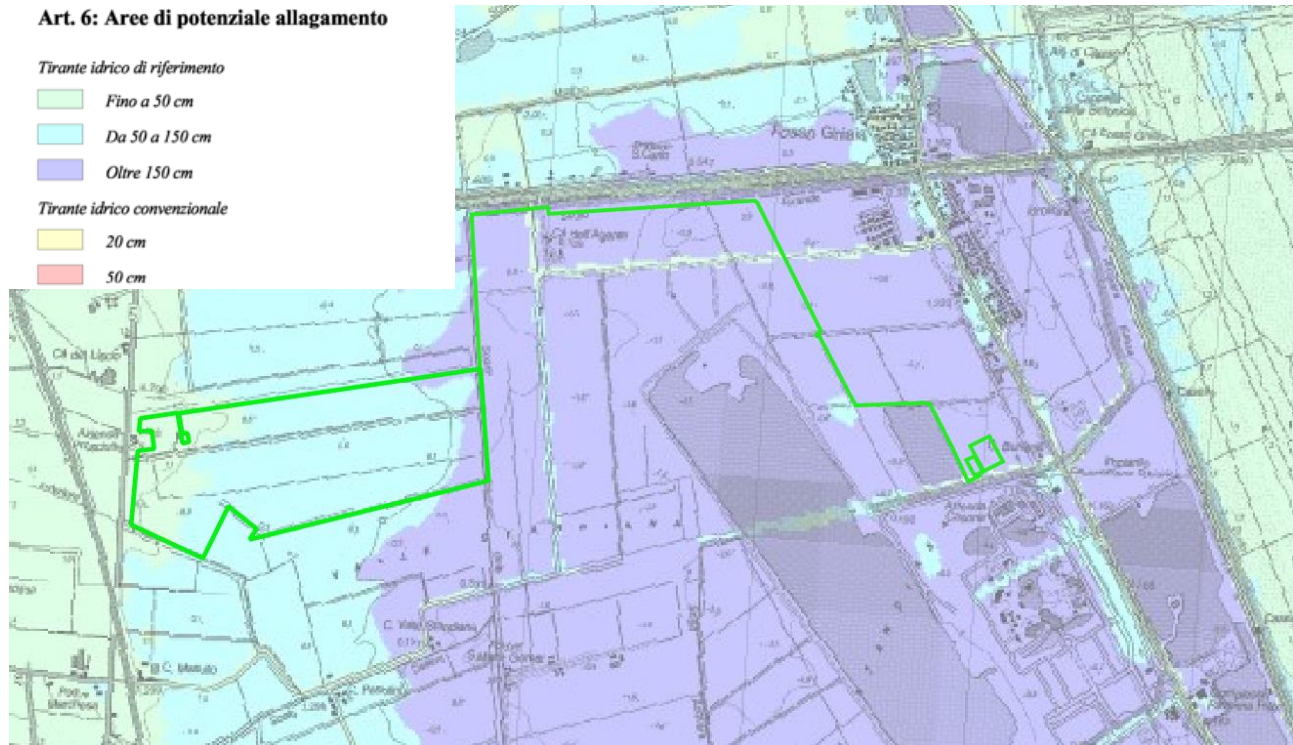


Figura 9 – Stralcio Tavola 240 NE-240 SE – 241 NO-241 “Tiranti idrici di riferimento”

La superficie dell'area del progetto presenta un tirante idrico fino a 50 cm nel settore centro occidentale, compreso tra 50 e 150 cm per la maggior parte dell'area e superiore a 150 cm nella porzione orientale del progetto. Per quanto concerne il tirante idrico si rimanda all'Art.6 delle NTA precedentemente descritto.

5.2 PGRA (PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI)

Un ulteriore livello di piano e programma vigente è quello del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Fiume Po (PGRA-Po), ovvero lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



patrimonio culturale e le attività economiche e sociali (d.lgs. n. 49 del 2010), in attuazione della Direttiva Europea 2007/60/CE, "Direttiva Alluvioni"). Il PGRA viene predisposto a livello di distretto idrografico e aggiornato ogni 6 anni. Per il Distretto Padano, cioè il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del fiume Po (PGRA-Po). La prima revisione del PGRA (PGRA 2021), relativa al sessennio 2022-2027, è stata adottata dalla Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po con deliberazione n. 3 del 29 dicembre 2020 e approvata con deliberazione n. 5 del 20 dicembre 2021; è definitivamente approvata con d.p.c.m. del 1° dicembre 2022. Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) riporta le aree con diversi gradi di pericolosità in aree suscettibili ad allagamenti in riferimento all'evento alluvionale con il tempo di ritorno considerato, in particolare:

- Elevata pericolosità: tempo di ritorno dell'alluvione ogni 10/50 anni;
- Media pericolosità: tempo di ritorno dell'alluvione ogni 100/200 anni;
- Scarsa pericolosità: tempo di ritorno dell'alluvione ogni 500 anni.

Nell'analisi di pericolosità sono stati considerati anche diversi scenari a seconda dei tempi di ritorno:

- Scenario frequente: tempo di ritorno dell'alluvione ogni 20 anni;
- Scenario poco frequente: tempo di ritorno dell'alluvione ogni 200 anni;
- Scenario raro: tempo di ritorno dell'alluvione ogni 500 anni.

Il Gruppo di Lavoro (Autorità di Bacino del Fiume Po, Regione Autonoma Valle d'Aosta, Regione Piemonte, Regione Liguria, Regione Lombardia, Regione Emilia-Romagna, Provincia Autonoma di Trento, Regione Veneto) coordinato dall'Autorità di Bacino del fiume Po (AdBPo) ha scelto di individuare le aree allagabili, secondo quanto previsto dalla Direttiva Alluvioni e dal D.Lgs. 49/2010 di recepimento.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



Nell'UoM del fiume Po, la rilevante estensione del bacino e la peculiarità e diversità dei processi alluvionali che avvengono lungo il suo reticolo idrografico, hanno reso necessario effettuare la mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali. Tali ambiti sono di seguito brevemente descritti:

- Reticolo idrografico Principale - RP: costituito dall'asta principale del fiume Po e dai suoi maggiori affluenti nei tratti di pianura e nei principali fondivalle montani e collinari (lunghezza complessiva pari a circa 5.000 km);
- Reticolo idrografico Secondario Collinare e Montano – RSCM: costituito dai corsi d'acqua secondari nei bacini collinari e montani e dai tratti montani dei fiumi principali;
- Reticolo idrografico Secondario di Pianura – RSP: costituito dai corsi d'acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui nella medio-bassa pianura padana;
- Aree Costiere Lacuali – ACL: sono le aree costiere del mare Adriatico in prossimità del delta del fiume Po;
- Aree Costiere Marine – ACM: sono le aree costiere dei grandi laghi alpini (Maggiore, Como, Garda, ecc.).

Per consentire l'elaborazione ed i successivi aggiornamenti del PGRA, tutto il bacino idrografico di competenza dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, è stato suddiviso in ambiti territoriali che rappresentano specifiche realtà fisiografiche ed amministrative, le Unità di Gestione (Unit of Management – UoM), di seguito elencate:

- UoM ITN008, coincidente con il bacino del fiume Po;
- UoM ITI021, coincidente con il bacino del fiume Reno;
- UoM ITR081, coincidente con i bacini dei fiumi romagnoli;
- UoM ITI026, coincidente con i bacini dei fiumi Fissero-Tartaro-Canalbiano;

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

- UoM ITI01319, coincidente con i bacini dei fiumi Conca, Uso e Marecchia e bacini minori afferenti alla costa.

Il Comune di Ravenna rientra all'interno dell'UoM ITR081- Bacini Romagnoli.

Considerando la fitta rete idrografica presente, l'area oggetto di studio e tutto il Comune di Ravenna ricadono all'interno sia del Reticolo Idrografico Principale (RP), (nelle vicinanze dei corsi d'acqua principali, Fiumi Uniti, Canale Candiano, Fiume Montone) sia nel Reticolo Idrografico Secondario di Pianura (RSP); quest'ultimo in particolar modo nelle aree dove sono presenti i fossi di scolo della bonifica. Di seguito si riportano le mappe di pericolosità per le aree suscettibili di allagamenti all'interno dei due ambiti presenti, RP ed RSP con l'ubicazione dell'area dove è prevista la realizzazione dell'impianto fotovoltaico di progetto (contorno verde).

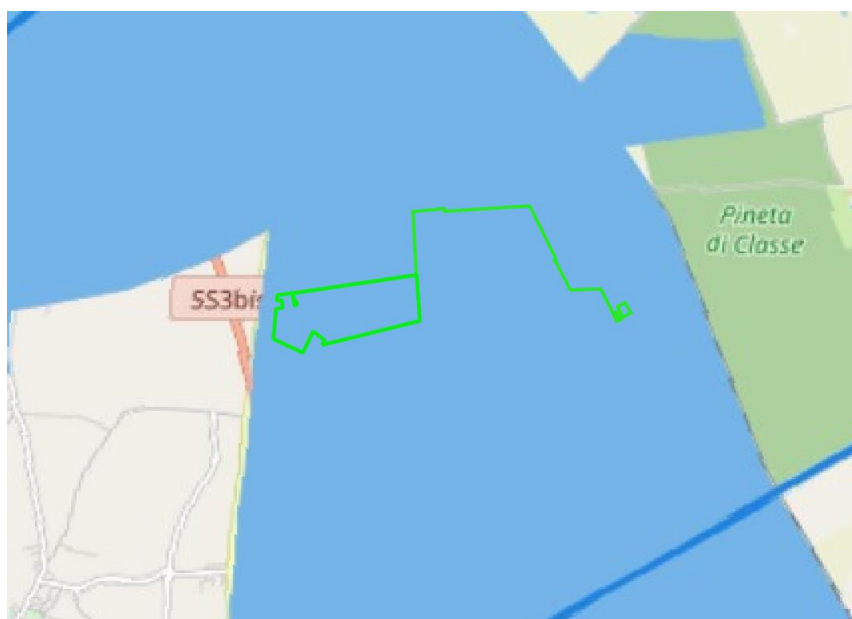


Figura 10 – Pericolosità in aree suscettibili ad allagamento reticolo idrografico (RP)

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



Figura 11 – Pericolosità in aree suscettibili ad allagamento reticolo idrografico (RSP)

Per quanto concerne il reticolo idrografico principale (RP), l'area di progetto ricade interamente in un'area con livello di pericolosità media M-P2 (Alluvioni poco frequenti: tempi di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità).

Per quanto riguarda il reticolo idrografico secondario (RSP), l'area oggetto di intervento ricade in un'area con livello di pericolosità Alta H-P3 (Alluvioni frequenti: tempi di ritorno tra 20 e 50 anni – alta probabilità).

Sulla base delle n.3 matrici riportate nella figura sottostante, distinte sulla base dei diversi ambiti territoriali di cui sopra, considerando le classi di pericolosità e danno, nel PGRA sono state elaborate le carte del rischio alluvione.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

CLASSI DI RISCHIO	CLASSI DI PERICOLOSITA'		
CLASSI DI DANNO	P3	P2	P1
D4	R4	R4	R2
D3	R4	R3	R2
D2	R3	R2	R1
D1	R1	R1	R1

Alla luce delle classi di pericolosità esaminate e definite precedentemente per l'area d'interesse e delle classi di danno specifiche, nella figura riportata di seguito, è rappresentata la carta del rischio di alluvioni per l'area oggetto di studio.

■ R1 - moderato
 ■ R2 - medio
 ■ R3 - elevato
 ■ R4 - molto elevato

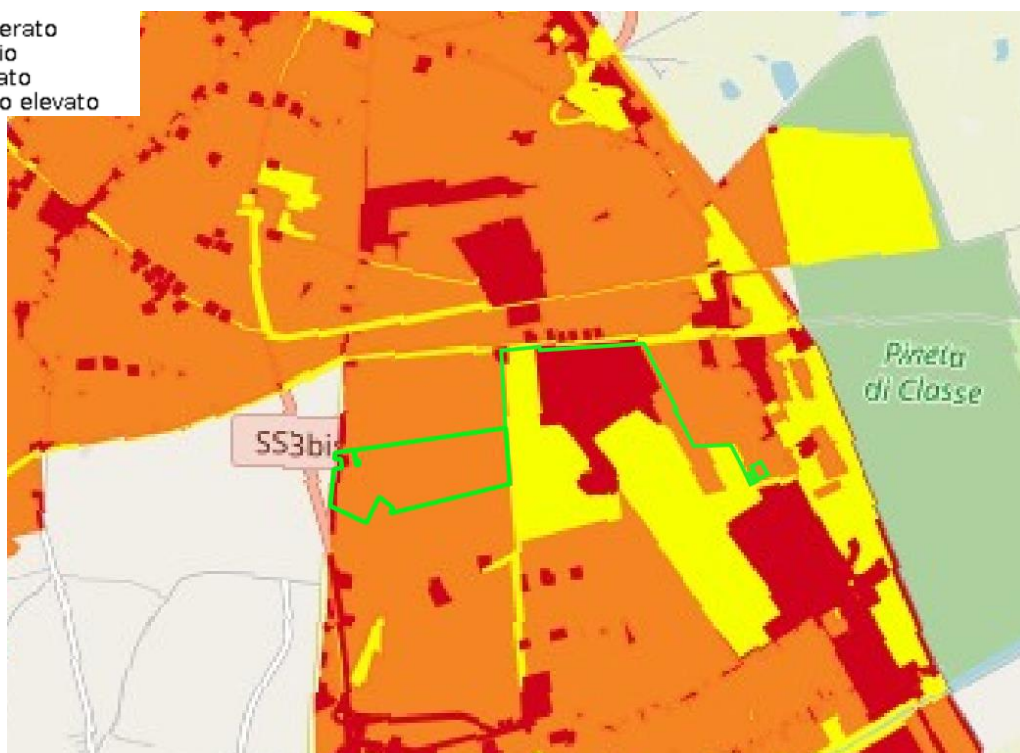


Figura 12 – Classi di rischio alluvione per l'area oggetto di intervento

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

La superficie dell'impianto (poligono con contorno verde) ricade su un'area caratterizzata da rischio medio R2. Il cavidotto interessa aree definite con rischio moderato R1 e rischio elevato R3 mentre la SS e la SE Terna ricadono in aree a rischio medio R2.

6. INQUADRAMENTO SISMICO

Il territorio dell'Emilia - Romagna presenta una sismicità rilevante distribuita prevalentemente lungo la catena appenninica, ma anche in una parte della Pianura Padana. Una situazione particolare è rappresentata dalla dorsale ferrarese, lungo la quale si possono avere terremoti di magnitudo 5.5 (terremoto di Ferrara del 1570 e quello di Argenta del 1624) o prossima a 6.0 (terremoti del maggio 2012), seguiti da lunghi periodi di quiescenza, intervallati da terremoti di energia moderata. Il Riminese è interessato da terremoti generati lungo la costa adriatica, localizzati prevalentemente in mare, con magnitudo tra 5.6 e 5.9 o di poco superiore a 6.0. Negli ultimi decenni sono molte le sequenze sismiche significative che hanno interessato il territorio dell'Emilia-Romagna.

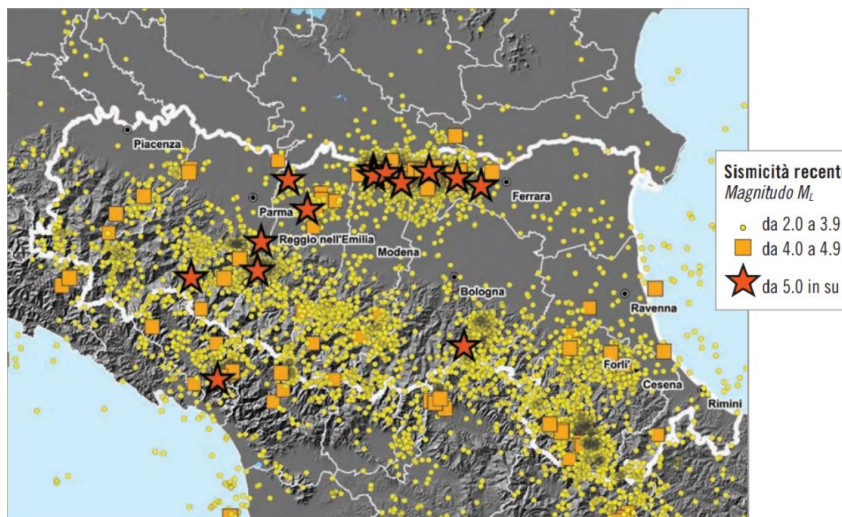


Figura 13 – Terremoti di magnitudo $M_L > 2$ registrati dalla Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 30 sett. 2013
(www.ingv.it)

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

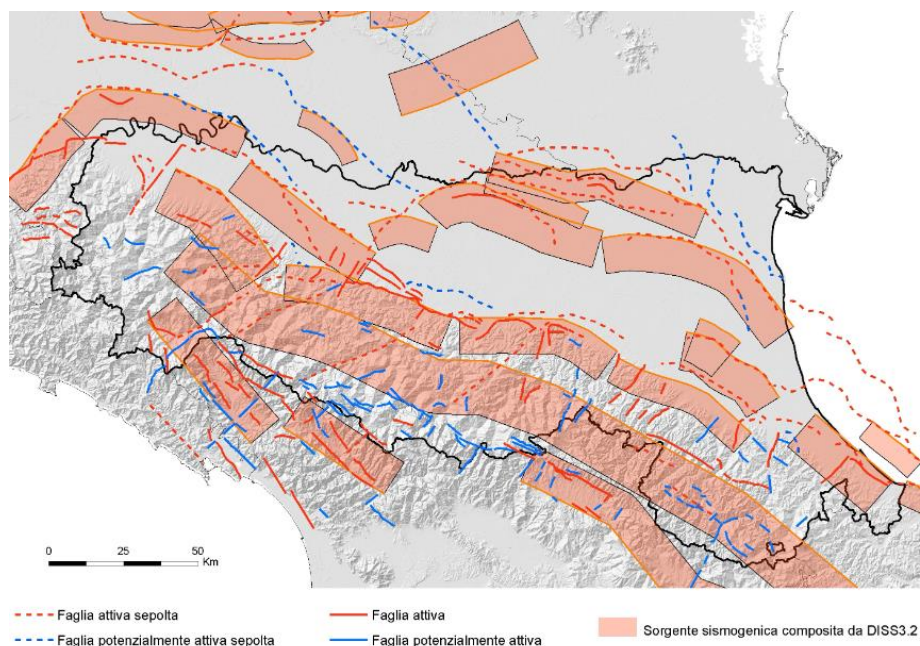


Figura 14 – Strutture sismogenetica nel territorio dell'Emilia-Romagna (www.ingv.it)

Si riportano nel seguito gli eventi sismici riportati nel Comune di Ravenna negli ultimi c.a. 1.000 anni.

Comune (ISTAT 2015)	Ravenna
Provincia	Ravenna
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	75

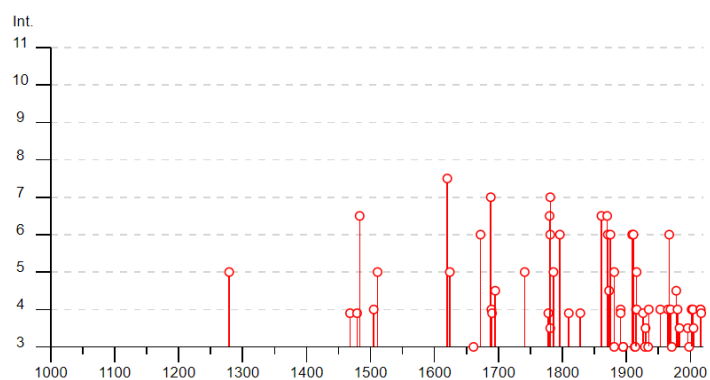


Figura 15 – Numero di eventi riportati nel comune di Ravenna dall'anno 100 al 2020 (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>)

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



6.1 PERICOLOSITA' SISMICA

- Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 che emana i “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche (G.U. n.105 del 08/05/2003);
- Ordinanza del P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006 che emana i “criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006)”.

L'emanazione di successive ordinanze (Ordinanza di protezione civile n° 3379 del 05/11/2004, Ordinanza del P.C.M. n° 3431 del 03/05/2005, Ordinanza del P.C.M. n° 3452 del 01/08/2005, legge n. 31/08 del 28/02/2008), hanno preceduto la definitiva obbligatorietà all'applicazione del D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche sulle costruzioni” (cap. 3.2 Azione sismica) per la valutazione della “pericolosità sismica di base” del sito interessato da nuove opere di costruzione ad oggi sostituito dal Decreto 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” .

La norma nazionale prevede di definire l'accelerazione sismica al suolo, sulla base di una mappatura del territorio italiano a cura dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), riportante le accelerazioni massime attese al suolo. La porzione di territorio in cui ricade l'area in studio è definita a bassa sismicità.

Il territorio di studio nel Comune di Ravenna (RA) è classificato in zona sismica 3.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

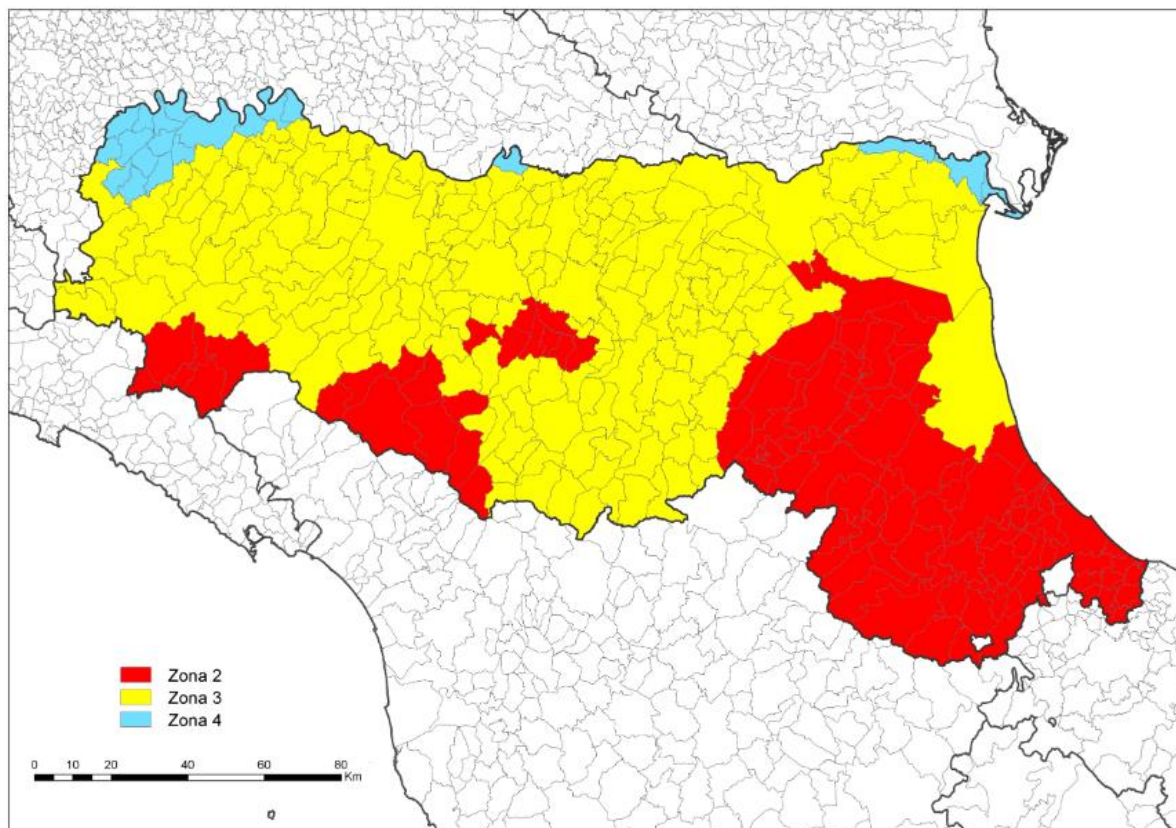


Figura 16 – Classificazione sismica della Regione Emilia - Romagna

Si riportano nelle figure seguenti i valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A., punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005) che risultano essere nell'area di studio tra 0,150 e 0,175 g sia per il Comune di Ravenna e l'area di studio.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

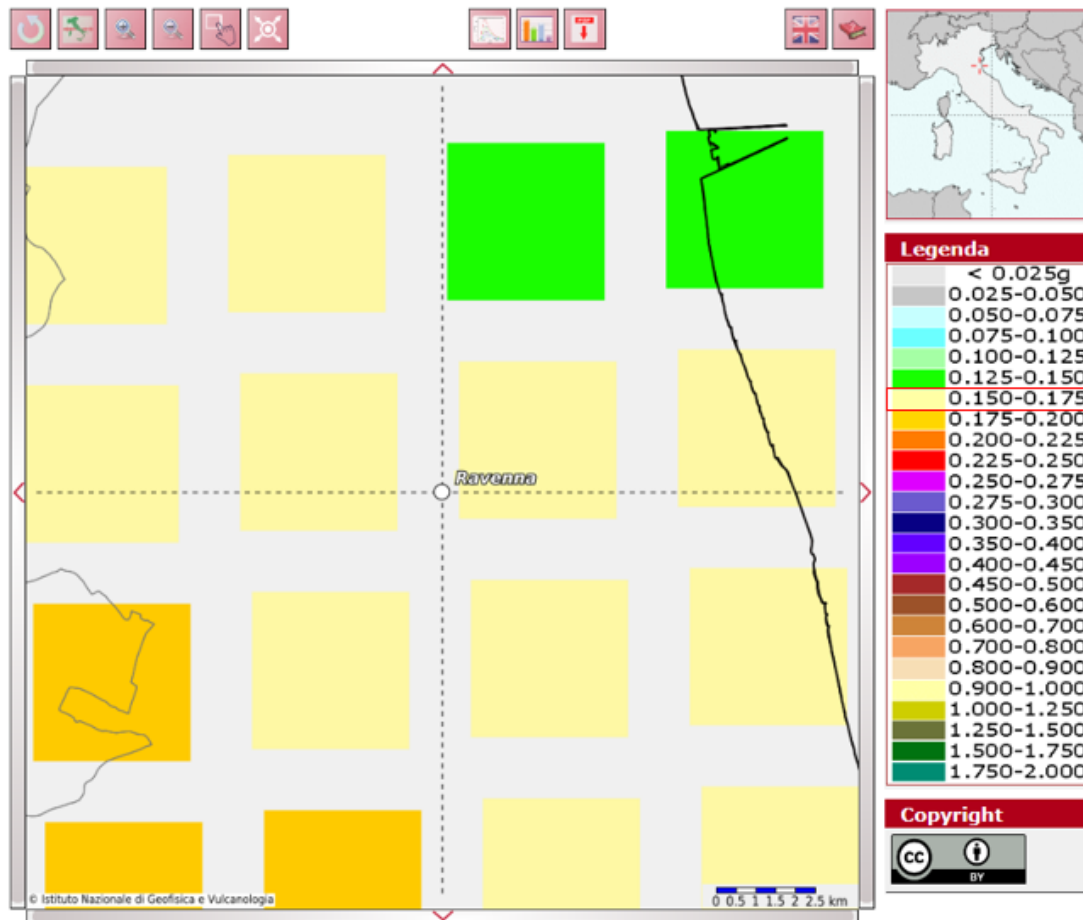


Figura 17 – Classificazione sismica della Regione Emilia - Romagna miche.mi.ingv.it (MPS04-S1)

Il Comune di Ravenna ha adottato la microzonazione sismica di II e III livello. Si evidenzia che le cartografie prodotte nell'ambito dello studio di microzonazione sismica per il parco turistico di Mirabilandia (ubicato a poca distanza in direzione est) evidenziano:

- un indice di potenziale liquefazione moderato
- fattore di amplificazione $FA_{SI3} = 2,5$
- velocità delle onde di taglio 210 230 m/s

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

7. INDAGINI ESEGUITE

Nel mese di agosto 2024 sono state eseguite le seguenti indagini geotecniche e geofisiche propedeutiche alla progettazione delle opere in progetto:

- n. 2 prove CPT spinto sino alla profondità di 30 metri dal p.c.,
- n. 2 prove sismiche a rifrazione,
- n. 2 MASW,
- n. 1 HVSR.



Figura 18 – Ubicazione delle indagini eseguite

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



Si riporta in **Allegato 1** la relazione con le indagini eseguite.

7.1 PROVE CPT

La prova Penetrometrica Statica C.P.T. (Cone Penetration Test) consiste nell'infiggere nel terreno, ad una velocità costante pari a 2 cm/s, una punta conica standard (Tipo Begemann) sormontata da un manicotto di attrito laterale. La spinta necessaria viene trasmessa alla punta da un gruppo a pistoni idraulici che sviluppa una forza massima di 20 t, mediante una batteria di tubi ed aste. Ogni 20 cm di avanzamento vengono misurati, mediante cella di carico a trasduzione digitale, i seguenti valori:

- Rp resistenza di punta espressa in Kg/cm²
- Rt resistenza totale (resistenza di punta e resistenza laterale) espressa in Kg/cm²

L'elaborazione di questi dati permette di individuare la sequenza stratigrafica dei terreni attraversati e grazie a formule empiriche e correlazioni grafiche (Begmann o Shmertmann) si possono ottenere con sufficiente attendibilità i parametri geotecnici necessari alla determinazione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni. A causa della distanza intercorrente fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale viene correlata, in fase di elaborazione con la corrispondente profondità di rilievo della Rp. L'intervallo di lettura può comportare talvolta, nel caso di terreni aventi stratificazione inferiore a 20 cm, la mancata individuazione di orizzonti potenzialmente rilevanti.

Sono state eseguite nello specifico n. 2 prove CPT spinte sino alla profondità di – 30 metri dal p.c. Si riportano in **Allegato 1** si riportano le elaborazioni grafiche.

Si riportano nel seguito i diagrammi di resistenza delle prove CPT.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

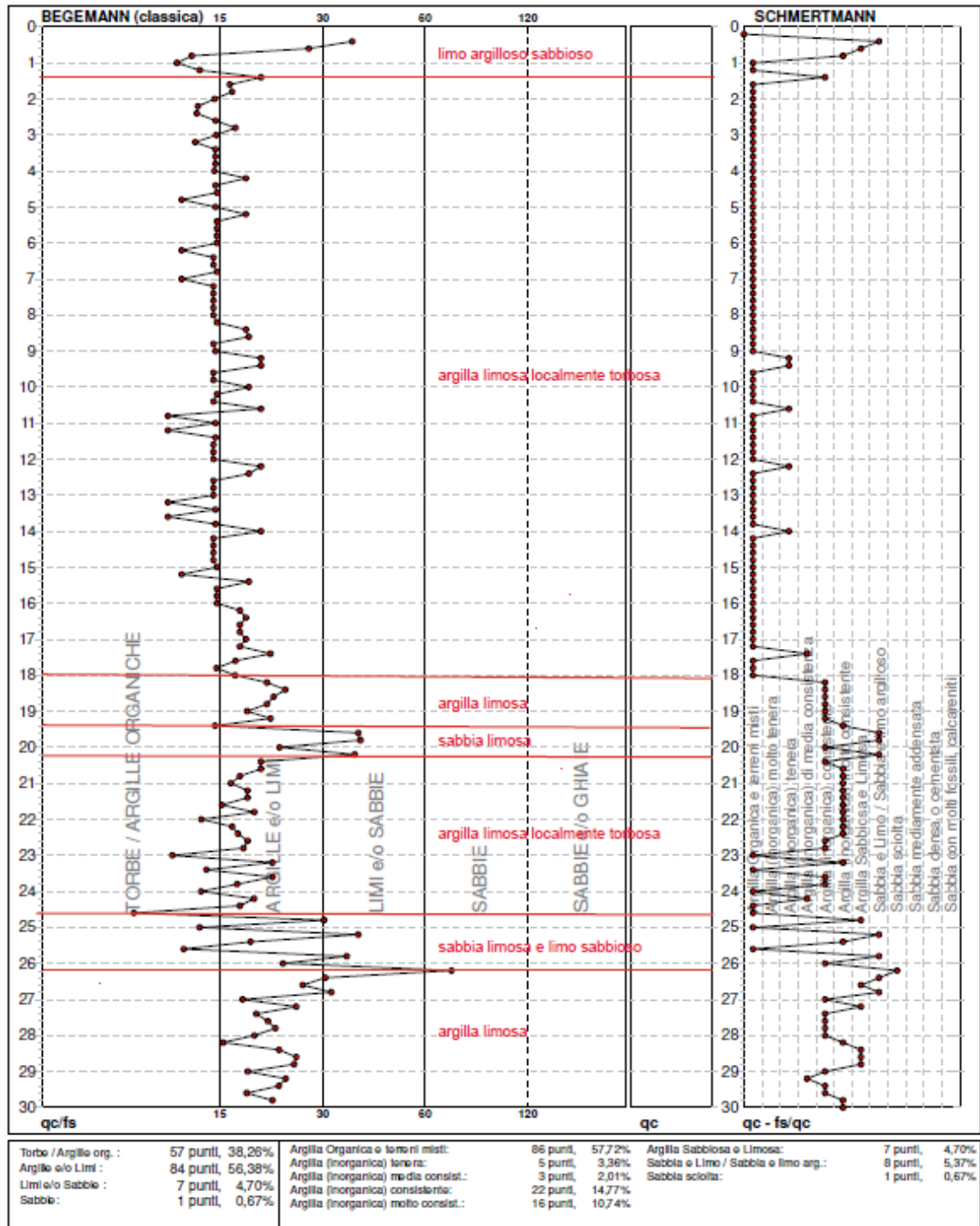


Figura 19 – Diagrammi di resistenza CPT1

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

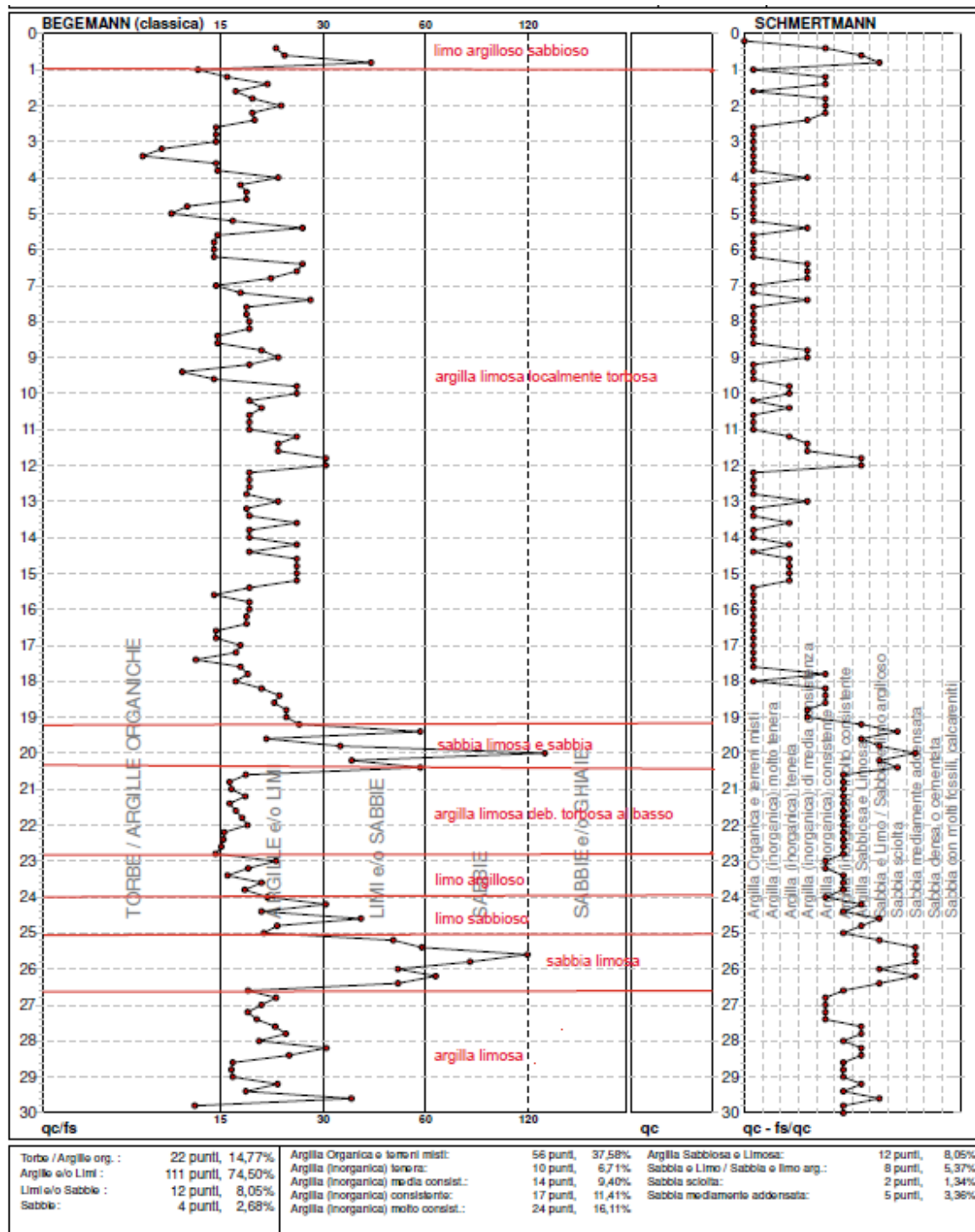


Figura 20 – Diagrammi di resistenza CPT2

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

7.1.1 RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA

La tabella che segue riporta l'interpretazione litologica ed i parametri geotecnici stimati dalle prove eseguite in sito. I parametri geotecnici forniti sono da considerarsi come dati medi, stimati sulla base delle elaborazioni eseguite e sulle conoscenze dei terreni dell'area, relativi al volume significativo di terreno interessato dalle opere di fondazione in progetto.

Prova CPT 1 / CPT2						
Profondità da p.c.	Litologia	Peso unità di volume	Peso unità di volume saturo	Coesione	Angolo di resistenza al taglio	Modulo elastico
[m]		[KN/m3]	[KN/m3]	[KN/m2]	[°]	[MN/m2]
0,00 ÷ 1,00	Limo argilloso sabbioso	19,5	20	110	24	189,83
1,00 ÷ 6,00	Argilla limosa localmente torbosa	18,75	19	20	18	45,54

Tabella 2 – Interpretazione stratigrafica CPT1-CPT2

7.2 INDAGINE GEOFISICA

7.2.1 SISMICA A RIFRAZIONE

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde sismiche rifratte tra il punto d'energizzazione in superficie e varie postazioni di ricezione (geofoni) disposte sul profilo del terreno. L'analisi della velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali (P) e/o trasversali (S) nel sottosuolo, ottenuta conoscendo la distanza sorgente-ricevitore e il relativo tempo d'arrivo dell'impulso sismico, consente di stimare le proprietà geomeccaniche dei terreni e delle rocce, essendo i valori di velocità proporzionali al grado di consistenza dei mezzi attraversati. Mediante l'analisi tomografica il sottosuolo indagato viene suddiviso in minime celle analitiche; tale procedura consente, rispetto ad analisi standard per rifrattori, un'elaborazione più dettagliata permettendo di distinguere anche intorni minimi con caratteristiche differenziate

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



per variazioni di consistenza, grado di alterazione/fratturazione, litologia, granulometria o addensamento. Le prospezioni sismiche con tecnica tomografica possono dunque contribuire alla definizione dello stato dei materiali indagati per la valutazione di ampie correlazioni stratigrafico-geomeccaniche. Riguardo alla correlazione con i contatti litostratigrafici, l'identificazione dei sismostrati rilevati dipende dal grado di effettiva omogeneità dello spessore litostratigrafico. Infatti, spesso interferiscono, con effetti opposti, fenomeni di cementazione o di disaddensamento al tetto e/o al letto dello strato geologico, i quali causano rispettivamente un innalzamento e un abbassamento dei valori di velocità sismica. Si deduce quindi che non necessariamente livelli di discontinuità fisica e delimitazioni geologiche coincidono; al contrario, la prospezione geosismica a rifrazione tomografica grazie al suo dettaglio analitico può mettere in luce importanti effetti di anisotropia laterale anche all'interno di un singolo elemento litostratigrafico.

L'elaborazione dei dati è stata eseguita per mezzo di software Geogiga Seismic Pro 9.1 mediante il modulo specifico dedicato alla tomografia sismica denominato DW Tomo.

Per captare gli eventi sismici sono stati utilizzati geofoni da 10 Hz con asse strumentale verticale per ricezione delle onde P. Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni sono stati acquisiti utilizzando un sismografo Geometrics del tipo Geode. Il Geode è un sistema d'acquisizione per sismica ad alta risoluzione utilizzabile per indagini sismiche a riflessione bidimensionali/tridimensionali e indagini a rifrazione di superficie, avente le seguenti principali caratteristiche tecniche:

- Numero di canali per ogni modulo: 24
- Frequenza di campionamento in μ s: 125, 250, 500, 1000, 2000
- Conversione A/D a 24 bits
- Escursione dinamica misurata: 117 dB
- Alimentazione 12 V
- Filtri digitali

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

7.2.2 ELABORAZIONE DEI PROFILI A RIFRAZIONE

Si riportano nel seguito i risultati delle elaborazioni eseguite.

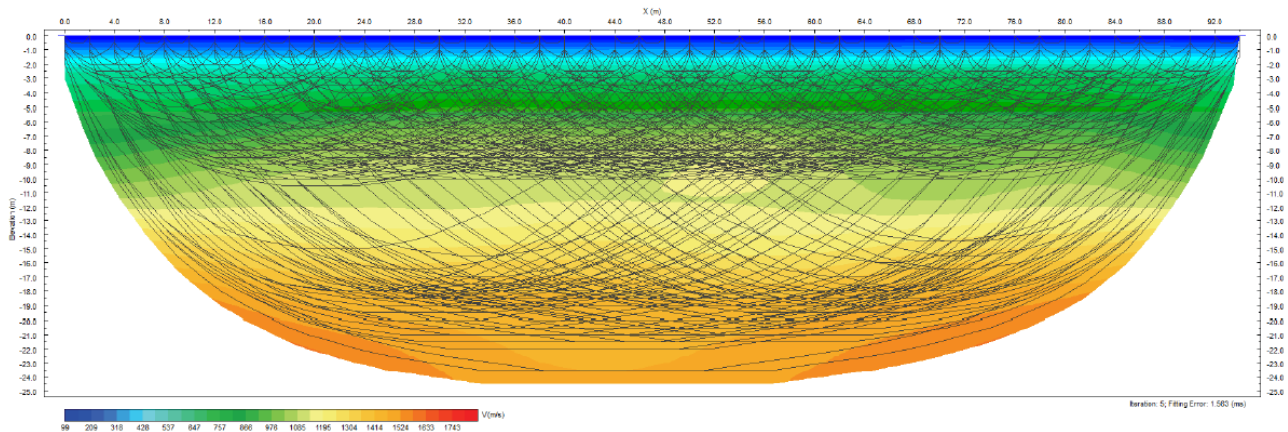


Figura 21 –Percorso teorico dei raggi sismici (ray tracing) tomografia sismica LS1

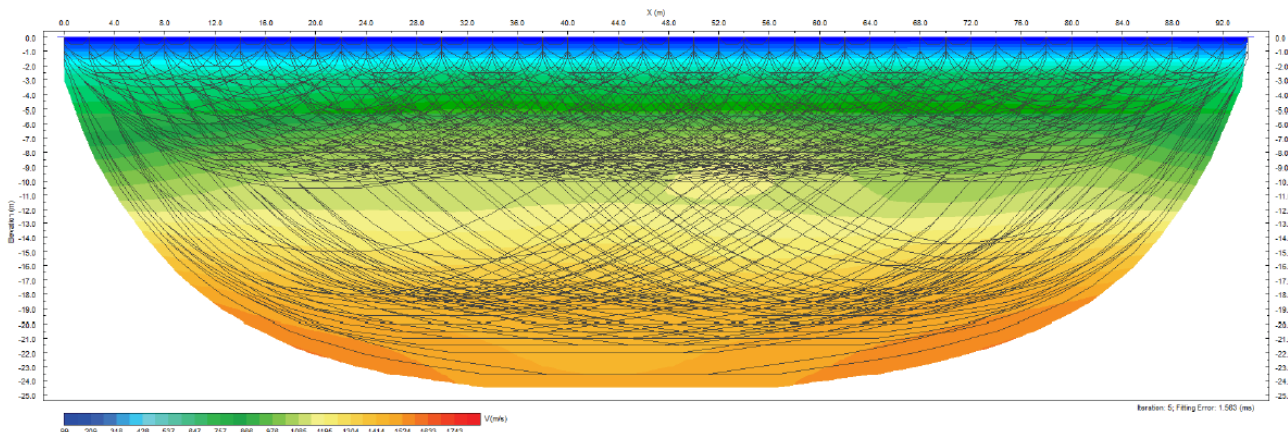


Figura 22 –Percorso teorico dei raggi sismici (ray tracing) tomografia sismica LS2

La profondità di indagine raggiunta con questi stendimenti è stata circa 24 m da piano campagna. Sulle sismosezioni tomografiche a rifrazione è ben definita la successione verticale delle velocità sismiche V_p che aumenta proporzionalmente alla consistenza dei

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

terreni e quindi con l'aumentare della profondità d'indagine. Di seguito le interpretazioni della Tomografia elaborate.

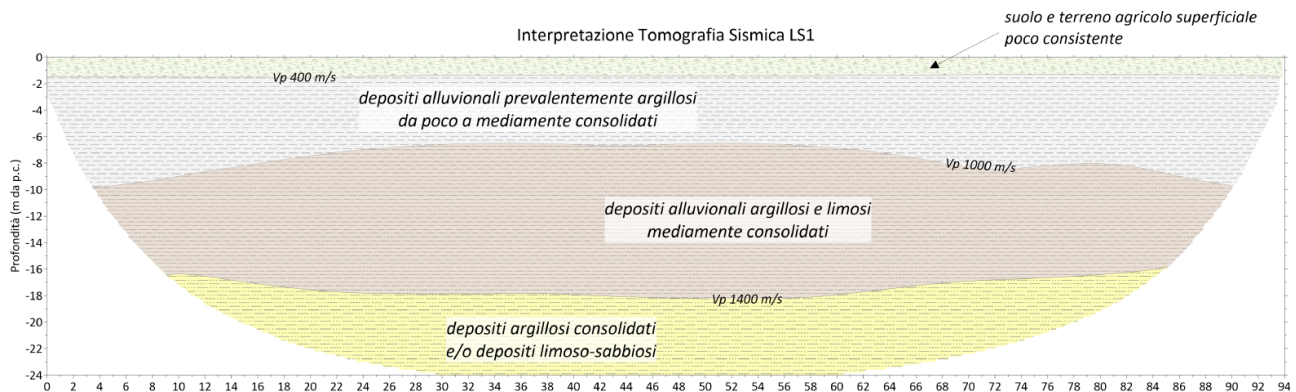


Figura 23 – Interpretazione della Tomografia Sismica LS1

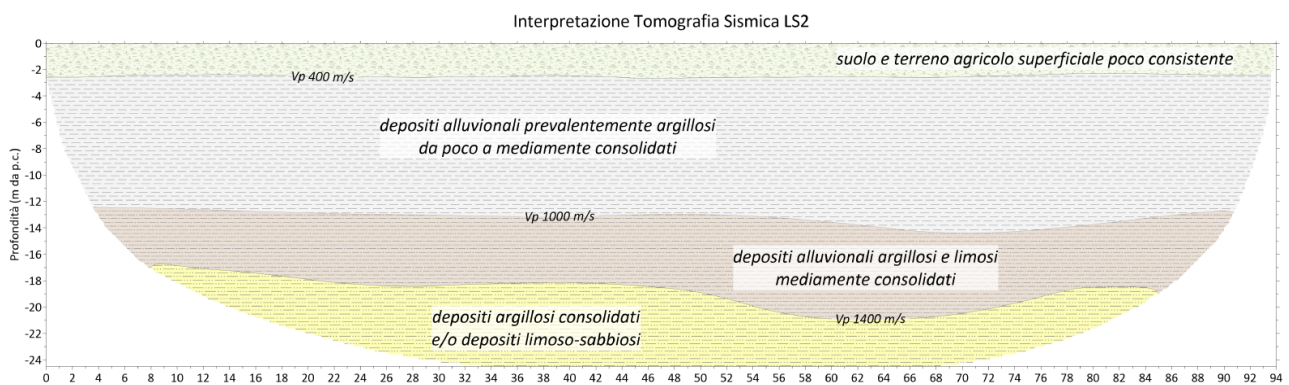


Figura 24 – Interpretazione della Tomografia Sismica LS2

7.2.3 INDAGINE SISMICA ATTIVA TIPO MASW

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



Rayleigh) generate artificialmente. L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (V_s) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico.

L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza. Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un valor medio della sezione di terreno interessata all'indagine di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento. Il metodo MASW sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p). Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito. Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre, le onde di Rayleigh sono meno sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore. Onde

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri. La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale; infatti, la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing. L'energizzazione è stata realizzata con offset minimo di 15 m con una mazza da 10 kg ed una piastra in duralluminio. Per ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva dei sismogrammi sono stati sommati più tiri. La fase di acquisizione dei dati è stata gestita con il software GEOEXPLORER fornito da SARA ELECTRONICS INSTRUMENTS mentre la qualità del dato è stata verificata con il software HS QUALITY CHECK (HS-QC) commercializzato da Eliosoft. La fase di preprocessing è stata gestita con il software Front prodotto da Geogiga Seismic Pro.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

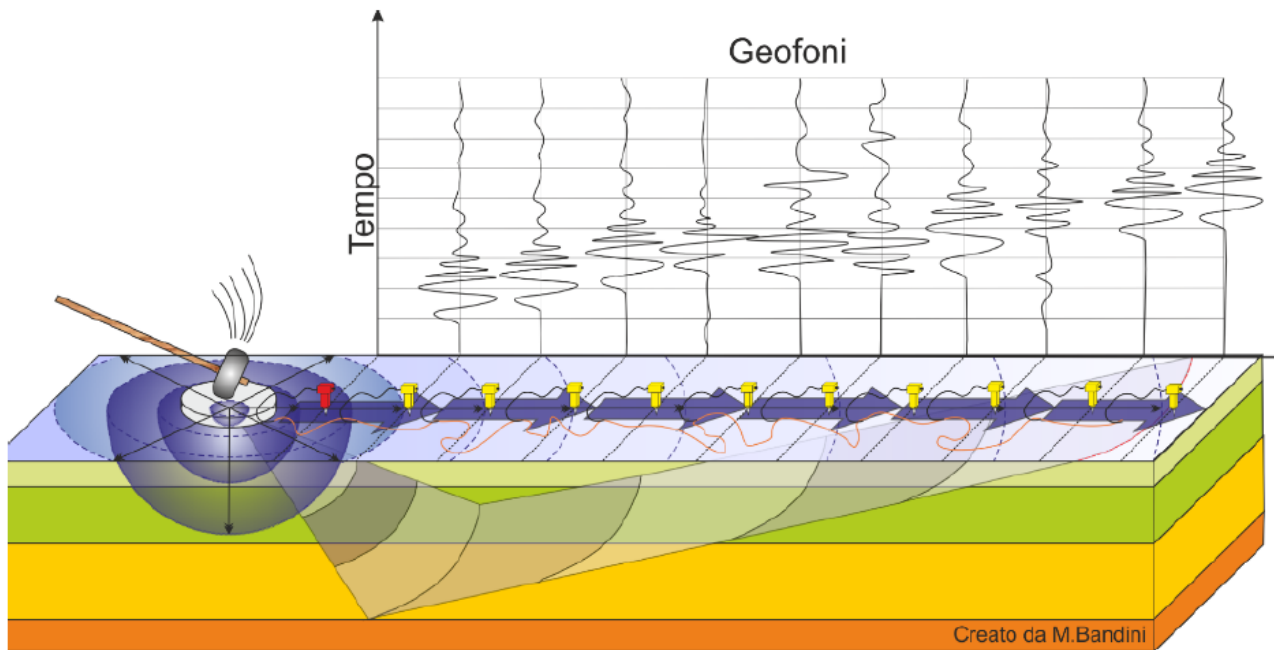


Figura 25 – Schema di funzionamento di indagine tipo MASW

7.2.4 INDAGINE SISMICA PASSIVA TIPO HVSR

La prova HVSR, anche detta H/V (metodo Nakamura 1989), consiste nella misura dei microtremori ambientali delle tre dimensioni spaziali (x,y,z) e la sua elaborazione consente di analizzare gli spettri di frequenza, restituendo un grafico del rapporto in ampiezza tra componenti orizzontali (H) e componente verticale (V). La tecnica HVSR permette in primo quindi di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, permette la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

7.2.5 DESCRIZIONE DEI RISULTATI – MASW 1

Nello specifico si è proceduto ad acquisire con vari scoppi la componente ZVF dell'onda di Rayleigh. Le elaborazioni effettuate sui dati rilevati hanno permesso di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s (attraverso il quale è possibile procedere al calcolo di $V_{s\ eq}$ o V_{s30} nel rispetto della normativa nazionale di riferimento). Si riportano di seguito i dataset nel dominio $x - t$ e $f - v$ relativi allo scoppio elaborato derivante dallo stacking di quelli acquisiti. Si riporta nello specifico l'output di un filtraggio (muting) che ha permesso di rimuovere la parte di segnale ascrivibile alle onde di volume, non utile per le successive elaborazioni.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

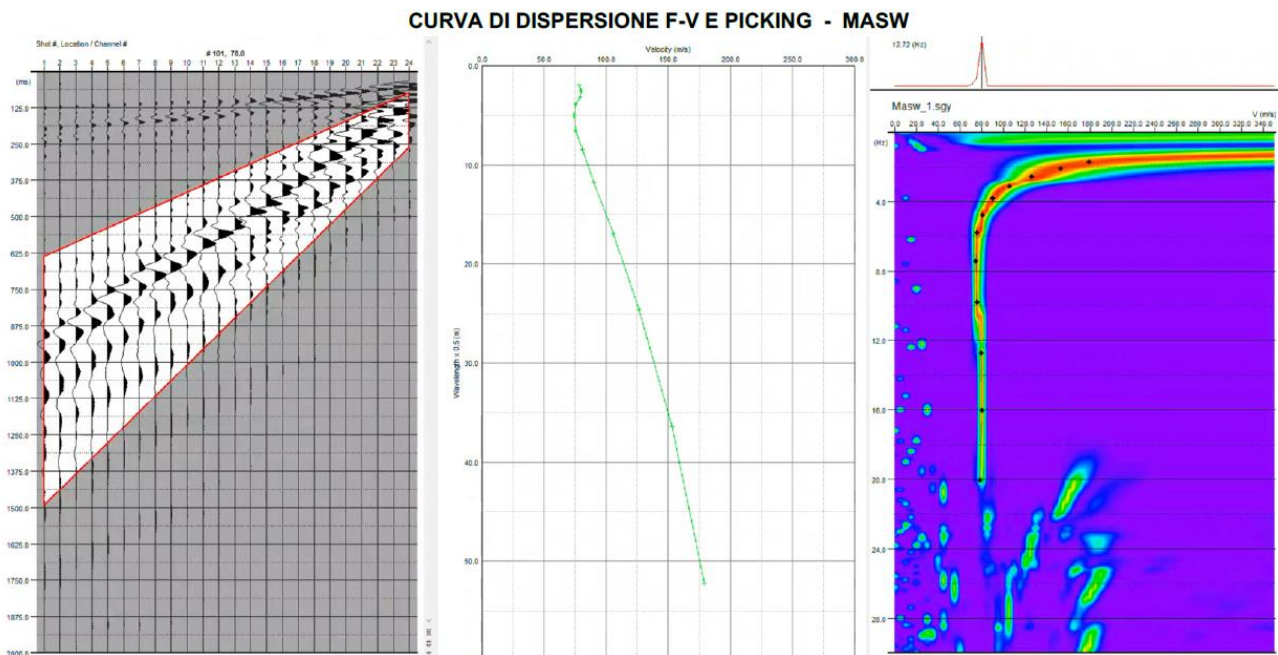


Figura 26 – Spettro di acquisizione di frequenza – MASW 1

Lo spettro relativo alla componente Z dell'onda di Rayleigh mostra un segnale ben definito ed unitario sulla base del quale sarebbe alquanto velleitario procedere al piccaggio delle curve modali sperimentali con lo scopo di effettuare la classica operazione di inversione. Per ovviare a tale criticità comunque insita nella tecnica classica di elaborazione (che prevede appunto l'estrazione, attraverso il picking, delle presunte curve di dispersione sperimentali e la successiva inversione delle stesse), si è proceduto alla modellazione diretta con la tecnica FVS che prevede la sovrapposizione tra lo spettro di velocità relativo al dato osservato ed una serie di spettri sintetici relativi a plausibili modelli di sottosuolo (ovviando alla incertezza della attribuzione di un segnale ad uno specifico modo di vibrazione).

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

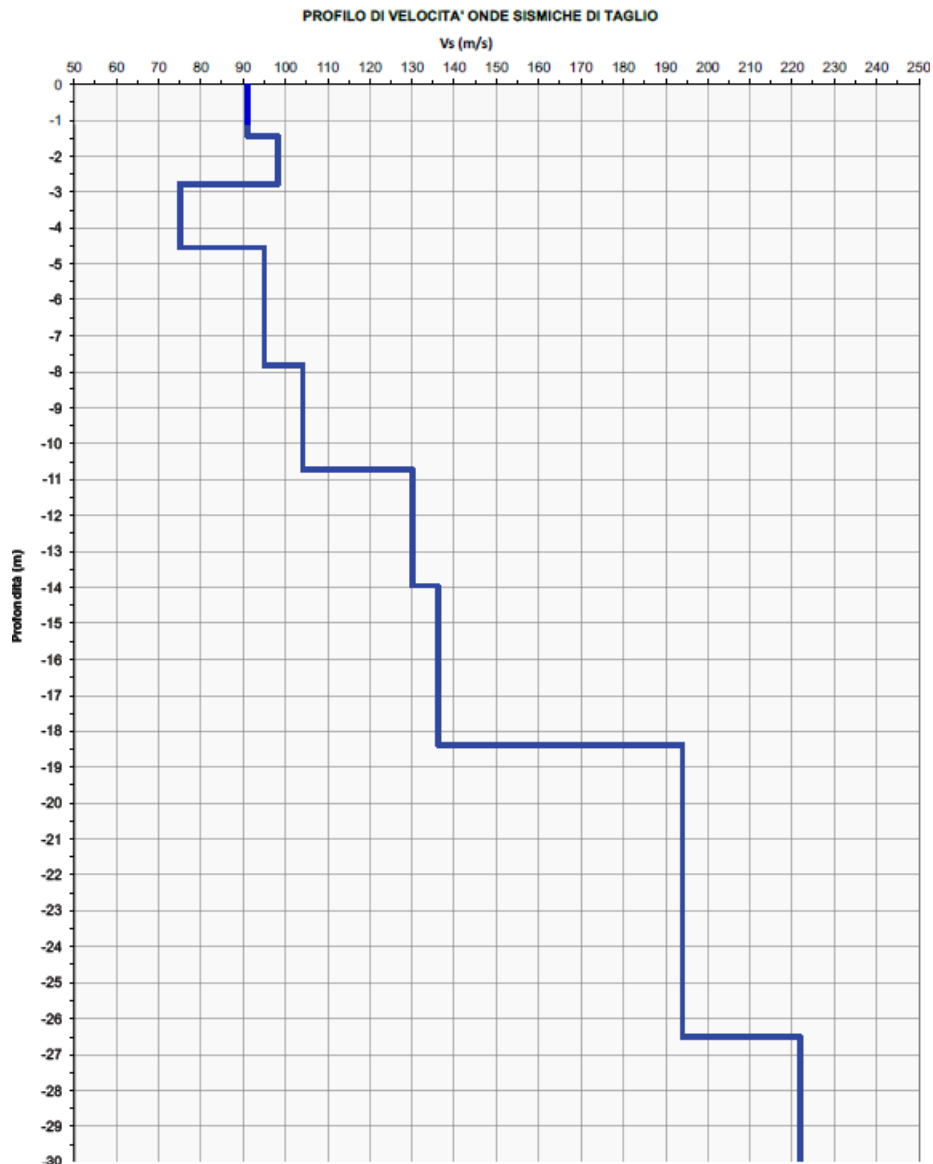


Figura 27 – Modello di sottosuolo – MASW 1

Il sito indagato, in ragione dei dati emersi può essere ascritto ai sensi delle vigenti NTC alla Categoria di suolo D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s

Analizzando la curva relativa al modello del terreno (Velocità – Profondità) si evince il seguente andamento:

- Progressivo aumento delle velocità delle onde di taglio VS fino a circa 30 m di profondità da p.c. con una leggera inversione da – 3 e – 4 m da p.c.;
- Progressivo aumento delle velocità delle onde di taglio VS da 0 m fino alla profondità massima, ovvero 35 m da p.c.;
- Il valore $V_s > 400$ m/s non viene mai raggiunto; pertanto, non è possibile definire in maniera univoca la presenza di un reale bedrock sismico entro i 30 m da p.c.;
- Valore di $V_s eq = 174$ m/s;
- Si osserva un costante miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.

Si riporta in **Allegato 1** il report di indagine.

7.2.6 DESCRIZIONE DEI RISULTATI – MASW 2

Nello specifico si è proceduto ad acquisire con vari scoppi la componente ZVF dell'onda di Rayleigh. Le elaborazioni effettuate sui dati rilevati hanno permesso di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s (attraverso il quale è possibile procedere al calcolo di $V_s eq$ o V_{s30} nel rispetto della normativa nazionale di riferimento). Si riportano di seguito i dataset nel dominio $x - t$ e $f - v$ relativi allo scoppio elaborato derivante dallo stacking di quelli acquisiti. Si riporta nello specifico l'output di un filtraggio (muting) che ha permesso di rimuovere la parte di segnale ascrivibile alle onde di volume, non utile per le successive elaborazioni.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

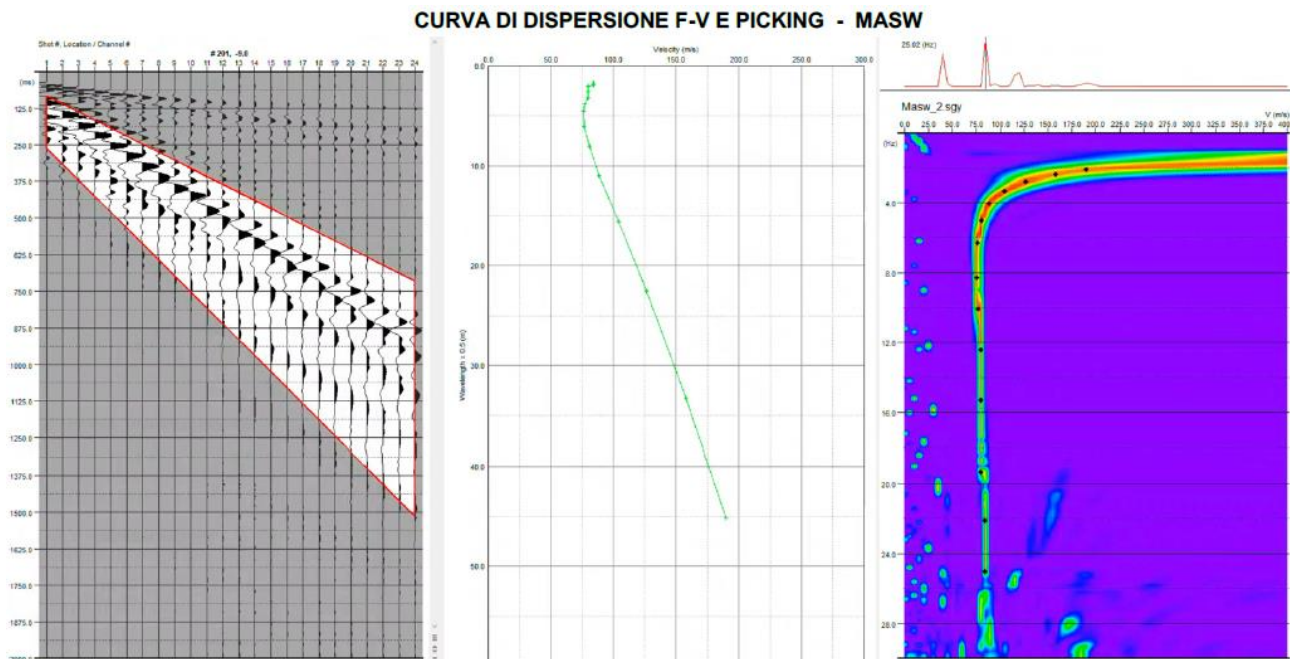


Figura 28 – Spettro di acquisizione di frequenza – MASW 2

Lo spettro relativo alla componente Z dell'onda di Rayleigh mostra un segnale ben definito ed unitario sulla base del quale sarebbe alquanto velleitario procedere al piccaggio delle curve modali sperimentali con lo scopo di effettuare la classica operazione di inversione. Per ovviare a tale criticità comunque insita nella tecnica classica di elaborazione (che prevede appunto l'estrazione, attraverso il picking, delle presunte curve di dispersione sperimentali e la successiva inversione delle stesse), si è proceduto alla modellazione diretta con la tecnica FVS che prevede la sovrapposizione tra lo spettro di velocità relativo al dato osservato ed una serie di spettri sintetici relativi a plausibili modelli di sottosuolo (ovviando alla incertezza della attribuzione di un segnale ad uno specifico modo di vibrazione).

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

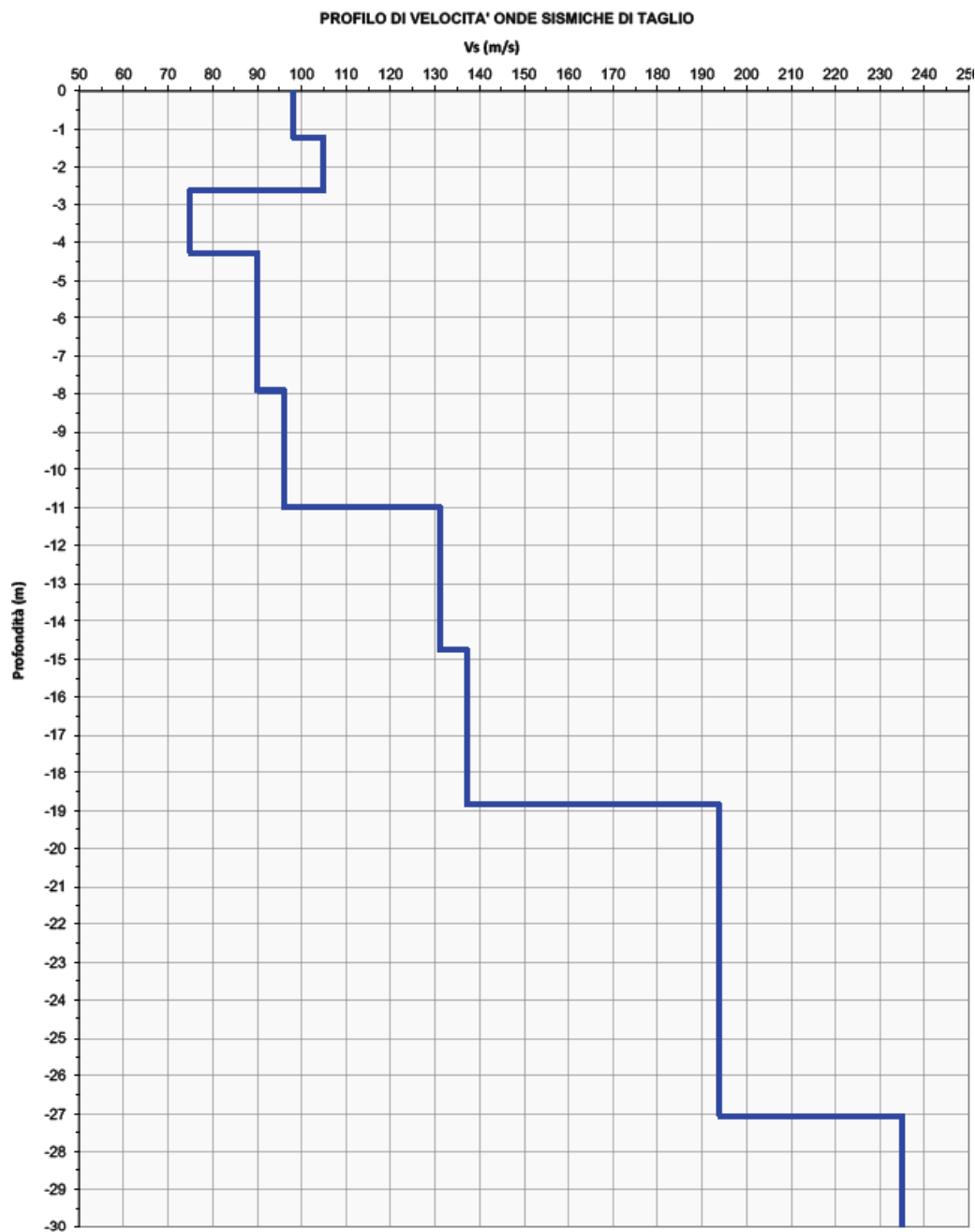


Figura 29 – Modello di sottosuolo – MASW 2

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – MAIL: campianosolar@legalmail.it



Il sito indagato, in ragione dei dati emersi può essere ascritto ai sensi delle vigenti NTC alla Categoria di suolo D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s

Analizzando la curva relativa al modello del terreno (Velocità – Profondità) si evince il seguente andamento:

- Progressivo aumento delle velocità delle onde di taglio VS fino a circa 30 m di profondità da p.c. con una leggera inversione tra – 2 e – 4 metri dal p.c.;
- Il valore Vs >400 m/s non viene mai raggiunto; pertanto, non è possibile definire in maniera univoca la presenza di un reale bedrock sismico entro i 35 m da p.c.;
- Valore di Vs eq= 168 m/s;
- Si osserva un costante miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.

Si riporta in **Allegato 1** il report di indagine.

7.2.7 DESCRIZIONE DEI RISULTATI – HVSR

L'indagine HVSR è stata realizzata con 20 minuti. In estrema sintesi per l'elaborazione di questi dati è stato utilizzato un approccio di tipo olistico (ad es. Pereyra e Woods, 1992; Pereyra, 2006; Dal Moro e Pipan, 2007; Dal Moro, 2008a; 2008b; 2010; 2011; Harris et al., 2009) per il quale l'interpretazione dei dati rilevati (e quindi la modellazione/inversione) deve soddisfare un modello in grado di giustificare adeguatamente tutti i dati osservati; ciò permette da un lato di migliorare il modello Vs (velocità delle onde di taglio) del sottosuolo e dall'altro di "validare" l'interpretazione degli stessi dati. L'inversione di dati geofisici di superficie (e non solo di questi), infatti, porta inevitabilmente a ricostruire una molteplicità di possibili modelli del sottosuolo, ciascuno

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



dei quali è in grado di generare i medesimi valori osservati (si veda ad esempio Scales et al., 2001; Ivanov et al.; 2005a; 2005b). Questo aspetto è spesso trascurato ma può avere ricadute pratiche importanti (come, ad esempio, una semplicistica valutazione del profilo Vs). L'inversione congiunta di diversi dati, quindi, rappresenta certamente un ottimo metodo sia per ridurre la non-unicità della soluzione che per giungere ad un'interpretazione affidabile e vincolata dei dati stessi (Picozzi e Albarello, 2007; Dal Moro, 2008a; 2010).

Relativamente alla misura HVSR eseguita si riportano le informazioni principali ottenute che non hanno permesso di definire in maniera univoca la presenza di un bedrock entro i 30 metri di profondità.

HSVSR 1:

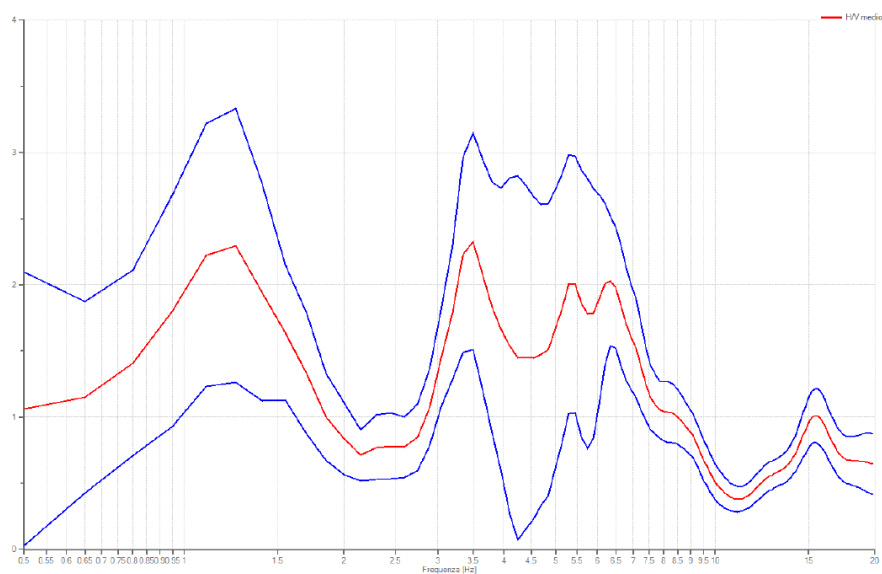
- Durata della registrazione: 20 minuti
- Frequenza massima: 20 HZ
- Frequenza minima: 1.00 HZ
- Passo frequenze: 0.10 HZ
- Frequenza di picco (Hz): $1,2 \pm 0,2$

Campiano Solar S.R.L.

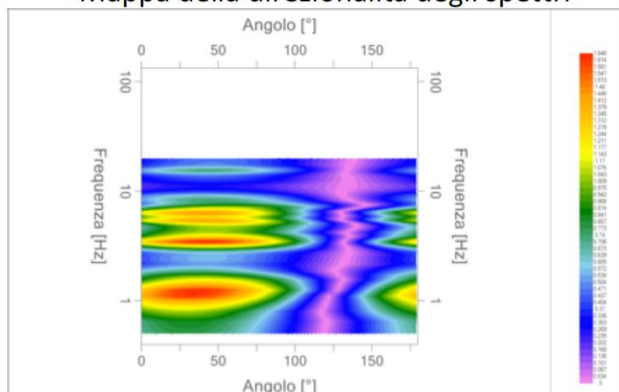
Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia



Mappa della direzionalità degli spettri



Mappa della stazionarietà degli spettri

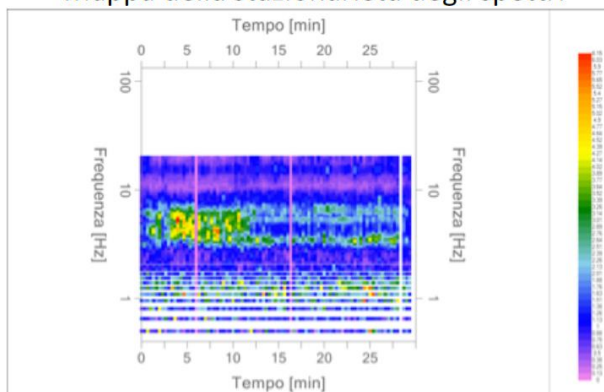


Figura 30 – Risultato HVSR

Si riporta in **Allegato 1** il report di indagine.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

8. PARAMETRI SISMICI DI BASE

Per la definizione dei parametri sismici di base, oltre alla Categoria di Suolo è necessario definire anche la Categoria Topografica (T) del sito, in ottemperanza a quanto previsto dalle NTC2018 vigenti, considerando quanto definito dalla seguente tabella.

Tab. 3.2.III – <i>Categorie topografiche</i>	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Figura 31 – Categorie topografiche – NTC2018

Le caratteristiche topografiche dell'area impianto sono ascrivibili alla T1 – Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

Considerando i risultati delle indagini geofisiche, esposti ai capitoli precedenti e quanto emerso dal rilievo plano-altimetrico con drone, è stata eseguita un'elaborazione per definire i parametri e coefficienti sismici del sito, considerando i diversi stati limite previsti dalle NTC2018.

Come valori di input per l'elaborazione sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- Categoria di Sottosuolo: D;
- Categoria Topografica: categoria T1;
- Vita nominale della costruzione (in anni) V_n : 50;
- Classe d'uso dell'edificio: II (costruzioni il cui utilizzo prevede affollamenti normali, in cui non sono presenti dei contenuti pericolosi per l'ambiente e in cui non si svolgono funzioni pubbliche e sociali essenziali. La classe comprende inoltre le industrie che svolgono attività non pericolose per l'ambiente, i ponti, le opere infrastrutturali, le reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, le reti ferroviarie la

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

cui interruzione non provochi situazioni di emergenza e le dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti).

Nella figura seguente è riportato l'esito dell'elaborazione eseguita, con il dettaglio tecnico dei parametri sismici di base.

Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.051	2.444	0.263
Danno (SLD)	50	0.064	2.464	0.279
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.171	2.516	0.285
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.225	2.469	0.290
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m) 1 **us (m)** 0.1

Cat. Sottosuolo D

Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,76	1,57
CC Coeff. funz categoria	2,44	2,37	2,34	2,32
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.018	0.023	0.072	0.099
kv	0.009	0.011	0.036	0.049
Amax [m/s²]	0.899	1.121	2.944	3.463
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Figura 32 – Parametri sismici di base

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



9. IDENTIFICAZIONE DI VINCOLI GEOTECNICI E DELLE POTENZIALI PROBLEMATICHE

Dai risultati delle indagini geologiche, geotecniche e geofisiche eseguite in corrispondenza dell'area di progetto non sono emersi vincoli geotecnici rilevanti, né problematiche di natura logistica per la realizzazione delle opere in progetto.

Per quanto riguarda gli aspetti puramente geotecnici si precisa che l'area è stata indagata in maniera completa, fornendo dei modelli geotecnici dettagliati del sottosuolo e rappresentativi delle reali caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti.

Nell'area di indagine si sono verificati eventi sismici attesi di magnitudo M maggiore a 5, sono state registrate accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti maggiori di 0,1 g e la soggiacenza media della falda rilevata è entro i 2 m di profondità, pertanto, la discriminante, per definire la necessità o meno di procedere con delle verifiche a liquefazione, è la distribuzione granulometria dei terreni.

Dati i risultati delle prove geofisiche e dei valori geotecnici emersi dalle prove CPT, relativamente all'area di progetto è consigliabile procedere con:

- compattazione del materiale fino al raggiungimento delle caratteristiche ricercate;
- valutare la possibilità di utilizzare fondazioni profonde con definizione della profondità del piano di posa in funzione:
 - delle caratteristiche di portanza dei terreni;
 - delle indicazioni contenute nel Norme Tecniche di Attuazione presenti nel Piano di Assetto Idrogeologico (PAI);
 - delle necessità relative all'opere.

In caso, invece, si decida di optare per altre tipologie di fondazioni (superficiali) dovranno essere verificati i cedimenti attesi in condizioni non drenate.

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



9.1 VALUTAZIONE DEI RISCHI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

L'area in cui sarà installato l'impianto risulta essere caratterizzate da pendenze da medio-basse a nulle in cui attualmente non sono stati rilevati indizi cinematici legati alla potenziale attivazione di fenomeni gravitativi sia superficiali che profondi.

Come è possibile osservare dalla cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), osservabile nel geoportale nazionale (link: <https://webgis.adbpo.it/>) non si evidenziano criticità morfologiche o dissesti in corrispondenza dell'area di progetto. Tuttavia, in merito al rischio idrogeologico dovrà essere fornita particolare attenzione in fase realizzativa considerando che:

- Per quanto concerne il reticolo idrografico principale (RP), l'area di progetto ricade in un'area con livello di pericolosità media M-P2 (Alluvioni poco frequenti: tempi di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità).
- Per quanto riguarda il reticolo idrografico secondario (RSP), l'area oggetto di intervento ricade in un'area con livello di pericolosità Alta H-P3 (Alluvioni frequenti: tempi di ritorno tra 20 e 50 anni – alta probabilità).
- La superficie dell'area del progetto presenta un tirante idrico fino a 50 cm nel settore centro occidentale, compreso tra 50 e 150 cm per la maggior parte dell'area e superiore a 150 cm nella porzione orientale del progetto. Per quanto concerne il tirante idrico si rimanda all'Art.6 delle NTA precedentemente descritto.
- La superficie dell'impianto ricade su un'area caratterizzata da rischio medio R2. Il cavidotto interessa aree definite con rischio moderato R1 e rischio elevato R3 mentre la SS e la SE Terna ricadono in aree a rischio medio R2.

Per quanto riguarda l'aspetto sismico la progettazione con i relativi parametri dovrà far riferimento, sia della categoria di sottosuolo che della categoria topografica; tuttavia,

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

analizzati i risultati delle indagini geofisiche, si conferma che non sono prevedibili criticità rilevanti.

8.1 INDIRIZZI PER LA PROGETTAZIONE CIVILE

A seguito delle indagini geologiche e geognostiche eseguite e delle successive interpretazioni dei dati, è stato possibile elaborare dei modelli geotecnici sito specifici, per i cui dettagli si rimanda ai capitoli precedenti. Sulla base dei parametri geotecnici è plausibile ipotizzare, seppur in maniera preliminare, le tipologie di strutture di fondazione più adatte a ciascuna area di intervento.

In generale, i valori derivanti dalle prove penetrometriche (CPT) e dalla ricostruzione stratigrafica, presentano valori tali da suggerire l'impiego di fondazioni di tipo profonde, in modo da sfruttare la profondità di infissione e raggiungere strati di terreno con maggiore densità relativa e angoli di resistenza al taglio migliori presenti oltre i 2 m di profondità.



Figura 33: Tipologico fondazione pali infissi

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



Figura 34: Tipologico fondazione zavorre in calcestruzzo

Inoltre, in ottemperanza alle normative vigenti per l'agrivoltaico avanzato, i pannelli saranno installati in modo da garantire, in posizione orizzontale, un'altezza dall'attuale piano campagna di circa 3,18 m. Tale altezza risulta essere ben superiore rispetto ai tiranti idrici che interessano l'area di progetto.

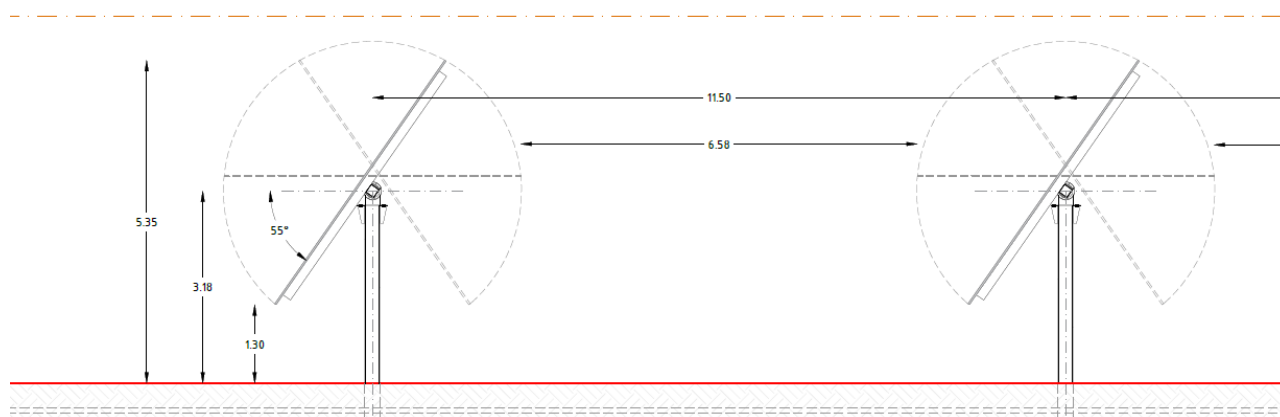


Figura 35: Tipologico pannelli

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it

Le cabine, invece, saranno realizzate su rilevati così da garantire una quota di imposta dall'attuale piano campagna pari a circa 1,5 m.

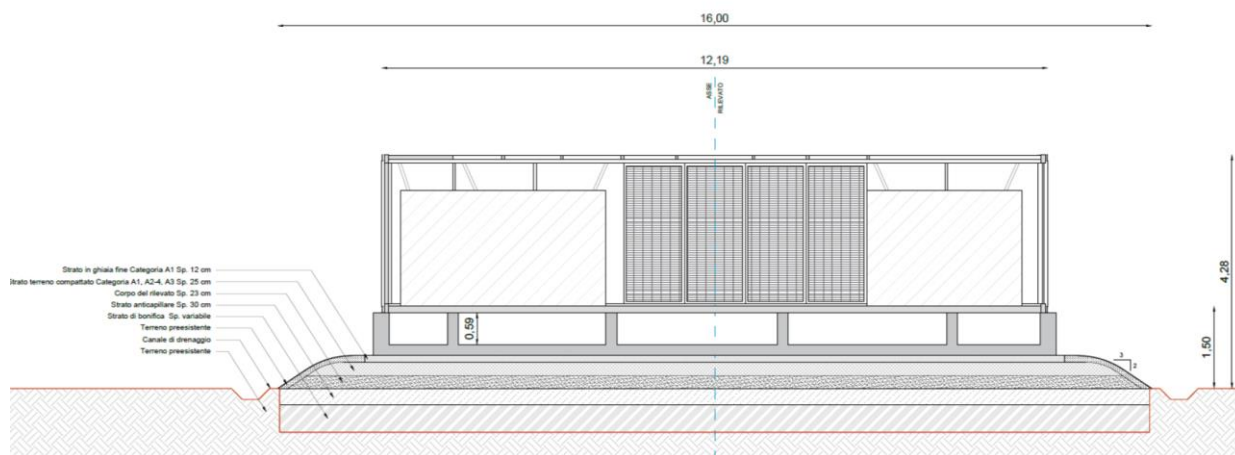


Figura 36: Cabina di trasformazione

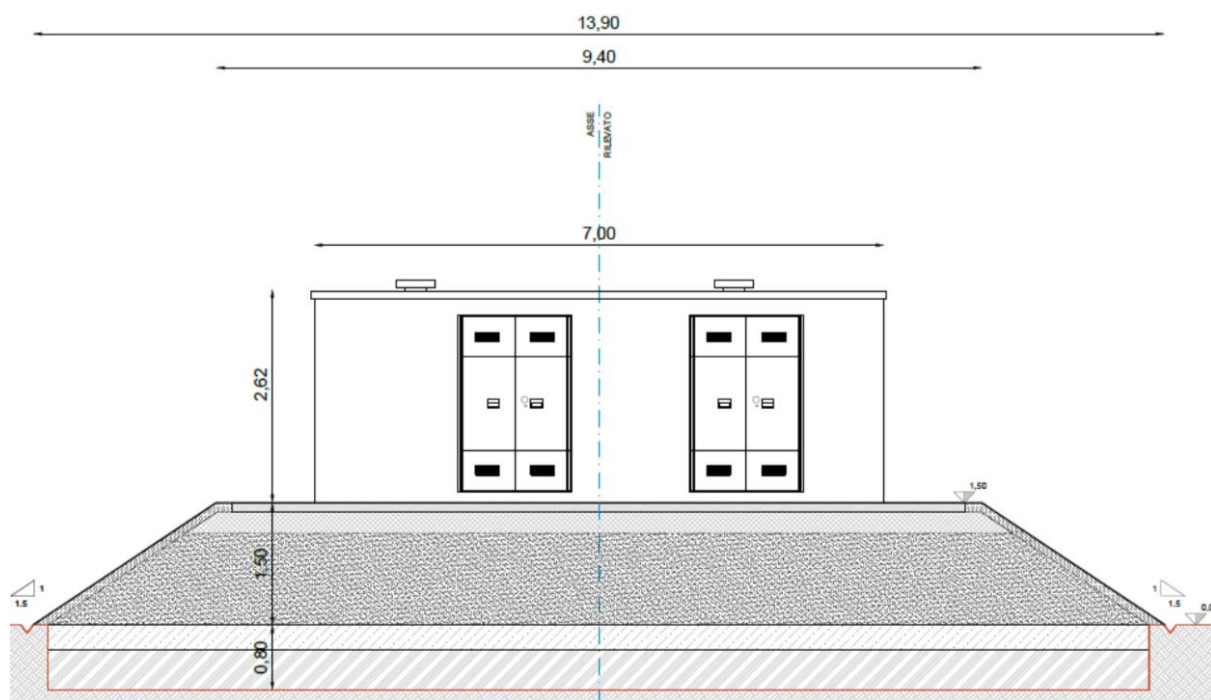


Figura 37: Cabina di controllo

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



10. BIBLIOGRAFIA

- *Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) – Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia – Romagna. Bologna;*
- *Ricci Lucchi F., Colalongo M.L., Cremonini G., Gasperi G.F., Iaccarino S., Papani G., Raffi S., & Rio D. (1982) – Evoluzione sedimentaria e paleogeografica del margine appenninico. In: Guida alla geologia del margine appenninico padano (a cura di G. Cremonini & F. Ricci Lucchi). Guide Geologiche Regionali S.G.I., Bologna, 17-46;*
- *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1.50.000 – Foglio n. 240-241 "Forlì - Cervia";*
- *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio n. 240-241 "Forlì – Cervia";*
- *<https://www.isprambiente.gov.it>*
- *<https://www.adbpo.it>*
- *<https://www.ingv.it/>*
- *<https://emidius.mi.ingv.it>*
- *<https://www.italianjournalofgeosciences.it>*

Campiano Solar S.R.L.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02754580393 – **MAIL:** campianosolar@legalmail.it



Allegato 1

Tozzi Green S.p.A.

Sede legale: Via Brigata Ebraica 50 – 48123 Mezzano (RA)

P.IVA: 02668120393 – **TEL:** 0544-525311 – **MAIL:** tozzi.re@legalmail.it



SONGEO SRL

Via A. Ascari, 6 - 44019 Gualdo di Voghiera (FE)
Tel. 0532 773136 - 0532 815683 Fax 0532 776455
www.songeo.it info@songeo.it

P.IVA e C.F. 01083140382

Certificazione UNI EN ISO 9001: 2015 N° 3233 rilasciata da Quaser Certificazioni Srl
Albo Nazionale Gestori Ambientali Iscrizione n° BO 03079 Cat. 9-E e 2BIS

Commessa 01677 del 08/08/24
Località Borgo Faina - Ravenna
Cantiere Borgo Faina - Ravenna

Committente

AMBIENTE s.p.a.

Elenco dei certificati

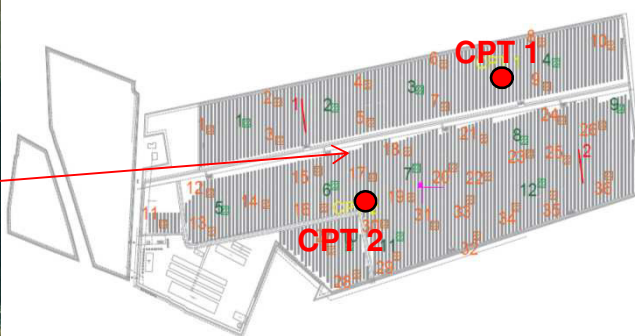
Rif.	Certificato	del	Prova	Specifica	Metodo
CPT 1	66/24	04/09/24	Prova penetrometrica	ASTM D 5778-07; AGI 1977	Punta meccanica Begemann
CPT 2	67/24	04/09/24	Prova penetrometrica	ASTM D 5778-07; AGI 1977	Punta meccanica Begemann

Corografia e Planimetria



Sperimentatore

Squarzeda Mirco



Direttore



pag. 1 di 5

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI**CPT****1**

riferimento

002-2024

certificato n°

66-24

n° verb. accett. 01677 del 08-08-24

Committente: **AMBIENTE S.P.A.**Cantiere: **Borgo Faina**Località: **Borgo Faina - comune Ravenna**U.M.: **kg/cm²**

Data esec.: 30/08/2024

Pagina: 4/17

Data certificato: 04/09/2024

Elaborato:

Falda: -1,70 m da p.c.

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'vo U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
0,20	--	--	3	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI**CPT****1**

riferimento

002-2024

certificato n°

66-24

n° verb. accett. 01677 del 08-08-24

Committente: **AMBIENTE S.P.A.**Cantiere: **Borgo Faina**Località: **Borgo Faina - comune Ravenna**U.M.: **kg/cm²**

Data esec.: 30/08/2024

Pagina: 4/17

Data certificato: 04/09/2024

Elaborato:

Falda: -1,70 m da p.c.

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'vo U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
20.00	18.0	22.5	2	0.98	1.57	164	0.75	2.5	397.5	596.3	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA**CPT****1**

riferimento

002-2024

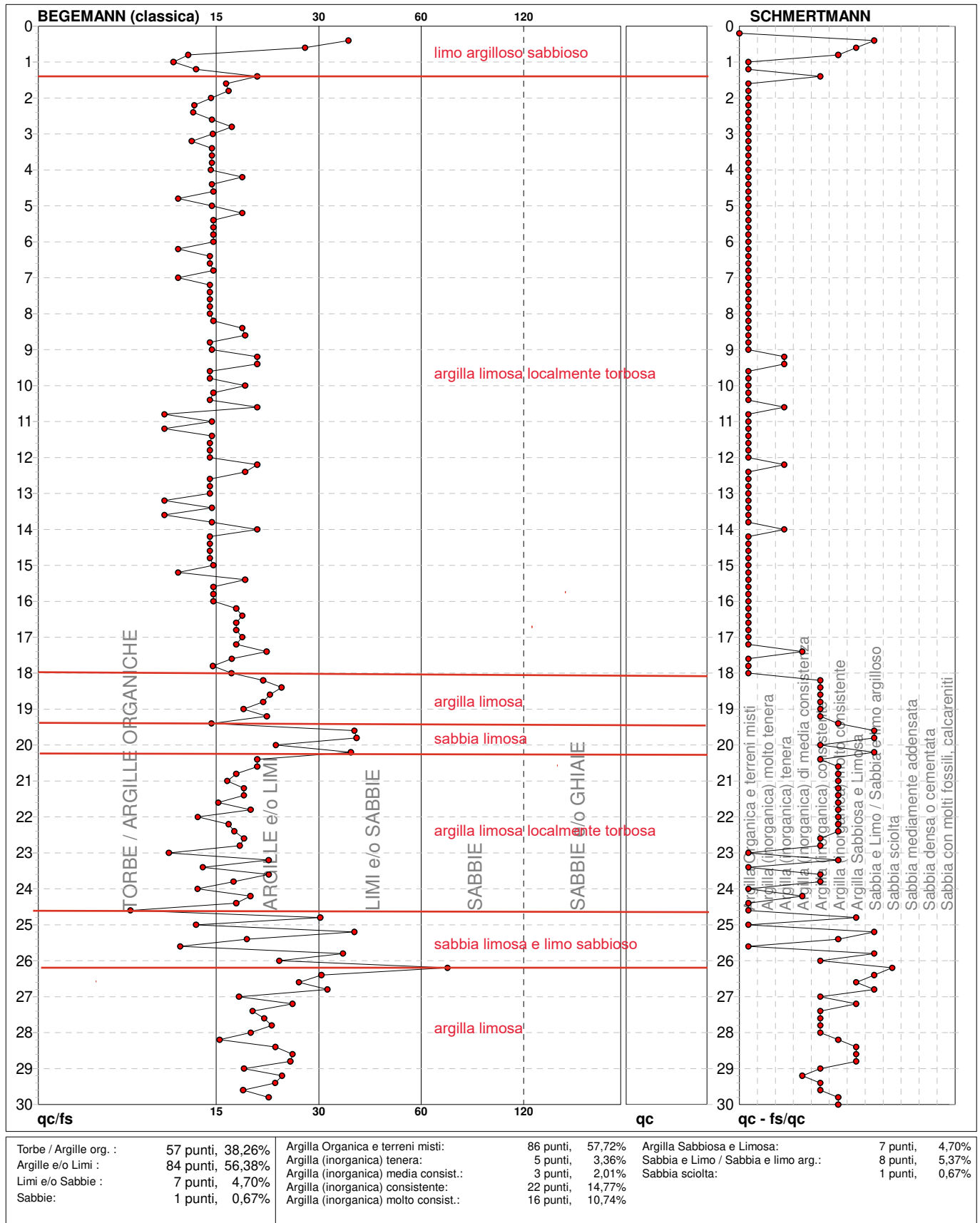
certificato n°

66-24

n° verb. accett. 01677 del 08-08-24

Committente: **AMBIENTE S.P.A.**Cantiere: **Borgo Faina**Località: **Borgo Faina - comune Ravenna**U.M.: **kg/cm²**Data esec.: **30/08/2024**Scala: **1:150**Data certificato: **04/09/2024**Pagina: **3/17**

Elaborato:

Falda: **-1,70 m** da p.c.

FON000

Sperimentatore

Direttore

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA															CPT		2											
PARAMETRI GEOTECNICI															riferimento		002-2024											
															certificato n°		67-24											
															n° verb.accett.		01677 del 08-08-24											
Committente: AMBIENTE S.P.A.															U.M.: kg/cm²		Data esec.: 30/08/2024											
Cantiere: Borgo Faina																	Data certificato: 04/09/2024											
Località: Borgo Faina - comune Ravenna															Pagina: 4/17		Falda: -2,40 m da p.c.											
															Elaborato:													
															NATURA COESIVA							NATURA GRANULARE						
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	FL1	FL2	E'50	E'25	Mo					
m	U.M.			t/m³	U.M.	m/s	U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)			U.M.	U.M.	U.M.					
0,20	--	--	?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
0,40	16,0	21,9	2	1,96	0,08	157	0,70	99,6	118,3	177,4	51,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
0,60	34,0	23,1	4	1,98	0,12	209	1,13	99,9	192,7	289,0	102,0	88	42	38	35	33	42	29	--	--	56,7	85,0	102,0					
0,80	32,0	40,0	3	1,88	0,15	204	--	--	--	--	--	79	41	36	34	31	40	29	--	--	53,3	80,0	96,0					
1,00	17,0	13,4	2	1,97	0,19	161	0,72	32,8	123,0	184,5	54,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
1,20	14,0	16,1	2	1,94	0,23	150	0,64	22,2	108,2	162,3	48,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
1,40	11,0	20,8	2	1,91	0,27	137	0,54	14,8	91,2	136,8	42,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
1,60	9,0	17,0	2	1,88	0,31	127	0,45	10,1	76,5	114,8	37,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
1,80	10,0	18,9	2	1,90	0,35	132	0,50	10,0	85,0	127,5	40,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
2,00	12,0	22,6	2	1,92	0,38	141	0,57	10,3	97,1	145,7	44,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
2,20	10,0	18,9	2	1,90	0,42	132	0,50	7,8	102,1	153,2	40,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
2,40	9,0	19,1	2	0,88	0,44	127	0,45	6,5	113,5	170,2	37,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
2,60	9,0	15,0	2	0,88	0,46	127	0,45	6,2	120,0	180,0	37,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
2,80	6,0	15,0	1	0,46	0,47	109	0,30	3,6	24,8	37,2	9,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3,00	6,0	15,0	1	0,46	0,48	109	0,30	3,5	25,6	38,4	9,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3,20	5,0	10,6	1	0,46	0,48	101	0,25	2,7	26,5	39,8	7,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3,40	5,0	9,4	1	0,46	0,49	101	0,25	2,7	26,9	40,3	7,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3,60	6,0	15,0	1	0,46	0,50	109	0,30	3,3	27,7	41,5	9,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3,80	5,0	15,2	2	0,80	0,52	101	0,25	2,5	132,2	198,3	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
4,00	6,0	22,2	2	0,82	0,54	109	0,30	3,0	146,9	220,4	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
4,20	7,0	17,5	2	0,84	0,55	115	0,35	3,6	155,8	233,8	32,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
4,40	6,0	18,2	2	0,82	0,57	109	0,30	2,8	152,1	228,2	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
4,60	6,0	18,2	2	0,82	0,59	109	0,30	2,7	154,3	231,5	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
4,80	5,0	12,5	1	0,46	0,59	101	0,25	2,1	29,5	44,3	7,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
5,00	6,0	11,3	1	0,46	0,60	109	0,30	2,6	32,6	48,9	9,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
5,20	10,0	16,7	2	0,90	0,62	132	0,50	4,8	172,5	258,7	40,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
5,40	7,0	25,9	2	0,84	0,64	115	0,35	3,0	173,7	260,5	32,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
5,60	5,0	15,2	2	0,80	0,65	101	0,25	1,9	141,5	212,2	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
5,80	4,0	14,8	1	0,46	0,66	93	0,20	1,4	25,4	38,2	6,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
6,00	4,0	14,8	1	0,46	0,67	93	0,20	1,4	25,5	38,2	6,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
6,20	4,0	14,8	1	0,46	0,68	93	0,20	1,4	25,5	38,3	6,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
6,40	7,0	25,9	2	0,84	0,70	115	0,35	2,6	182,0	273,0	32,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
6,60	10,0	25,0	2	0,90	0,72	132	0,50	4,0	199,9	299,8	40,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
6,80	7,0	21,2	2	0,84	0,73	115	0,35	2,5	185,7	278,6	32,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
7,00	6,0	15,0	1	0,46	0,74	109	0,30	2,0	35,9	53,8	9,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
7,20	7,0	17,5	2	0,84	0,76	115	0,35	2,4	188,1	282,2	32,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
7,40	9,0	27,3	2	0,88	0,78	127	0,45	3,2	215,6	323,4	37,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
7,60	6,0	18,2	2	0,82	0,79	109	0,30	1,9	170,1	255,2	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
7,80	6,0	18,2	2	0,82	0,81	109	0,30	1,8	170,8	256,2	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
8,00	5,0	18,5	2	0,80	0,83	101	0,25	1,4	146,7	220,1	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
8,20	5,0	18,5	2	0,80	0,84	101	0,25	1,4	147,0	220,5	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
8,40	5,0	15,2	2	0,80	0,86	101	0,25	1,3	147,3	221,0	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
8,60	5,0	15,2	2	0,80	0,87	101	0,25	1,3	147,6	221,4	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
8,80	8,0	20,0	2	0,86	0,89	121	0,40	2,3	216,9	325,4	35,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
9,00	6,0	22,2	2	0,82	0,91	109	0,30	1,6	174,1	261,1	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
9,20	5,0	18,5	2	0,80	0,92	101	0,25	1,2	148,3	222,5	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
9,40	4,0	12,1	1	0,46	0,93	93	0,20	0,9	26,0	39,0	6,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
9,60	4,0	14,8	1	0,46	0,94	93	0,20	0,9	26,0	39,0	6,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
9,80	5,0	25,0	2	0,80	0,96	101	0,25	1,2	148,8	223,1	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
10,00	5,0	25,0	2	0,80	0,97	101	0,25	1,1	148,9	223,4	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
10,20	5,0	18,5	2	0,80	0,99	101	0,25	1,1	149,1	223,7	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
10,40	4,0	20,0	2	0,78	1,01	93	0,20	0,8	120,0	180,0	20,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
10,60	5,0	18,5	2	0,80	1,02	101	0,25	1,1	149,4	224,2	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
10,80	5,0	18,5	2	0,80	1,04	101	0,25	1,1	149,6	224,4	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
11,00	5,0	18,5	2	0,80	1,05	101	0,25	1,0	149,7	224,6	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
11,20	5,0	25,0	2	0,80	1,07	101	0,25	1,0	149,9	224,8	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
11,40	6,0	22,2	2	0,82	1,09	109	0,30	1,3	177,7	266,5	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
11,60	6,0	22,2	2	0,82	1,10	109	0,30	1,2	177,9	266,9	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
11,80	6,0	30,0	4	0,82	1,12	109	0,30	1,2	178,1	267,2	28,8	--	31	18	15	14	25	26	--	--	10,0	15,0	18,0					
12,00	6,0	30,0	4	0,82	1,13	109	0,30	1,2	178,3	267,5	28,8	--	31	18	14	14	25	26	--	--	10,0	15,0	18,0					
12,20	5,0	18,5	2	0,80	1,15	101	0,25	0,9	150,0	225,0	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
12,40	5,0	18,5	2	0,80	1,17	101	0,25	0,9	150,0	225,0	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
12,60	5,0	18,5	2	0,80	1,18	101	0,25	0,9	150,0	225,0	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
12,80	6,0	18,2	2	0,82	1,20	109	0,30	1,1	179,1	268,6	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
13,00	6,0	22,2	2	0,82	1,22	109	0,30	1,1	179,2	268,8	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
13,20	6,0	18,2	2	0,82	1,23	109	0,30	1,1	179,4	269,1	28,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
13,40	5,0	18,5	2	0,80	1,25	101	0,25	0,8	150,0	225,0	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
13,60	5,0	25,0	2	0,80	1,26	101	0,25	0,8	150,0	225,0	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
13,80	5,0	18,5	2	0,80	1,28	101	0,25	0,8	150,0	225,0	25,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
14,00	5,0	18,5	2	0,80																								

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI**CPT****2**

riferimento

002-2024

certificato n°

67-24

n° verb. accett. 01677 del 08-08-24

Committente: **AMBIENTE S.P.A.**Cantiere: **Borgo Faina**Località: **Borgo Faina - comune Ravenna**U.M.: **kg/cm²**

Data esec.: 30/08/2024

Pagina: 4/17

Data certificato: 04/09/2024

Elaborato:

Falda: -2,40 m da p.c.

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'_{vo} U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE												
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
20.00	48.0	120.0	3	0.91	1.80	238	--	--	--	--	--	32	35	26	23	22	30	31	--	--	80.0	120.0	144.0	
20.20	47.0	35.3	3	0.91	1.82	236	--	--	--	--	--	31	35	26	23	21	29	31	--	--	78.3	117.5	141.0	
20.40	18.0	54.5	4	0.91	1.84	164	0.75	2.1	418.0	627.0	56.2	--	31	21	18	17	25	27	--	--	30.0	45.0	54.0	
20.60	23.0	18.1	4	0.94	1.85	180	0.87	2.4	464.0	696.0	69.0	6	32	22	19	18	25	28	--	--	38.3	57.5	69.0	
20.80	25.0	16.3	4	0.94	1.87	186	0.91	2.5	479.2	718.9	75.0	9	32	23	19	18	26	28	--	--	41.7	62.5	75.0	
21.00	22.0	16.5	4	0.93	1.89	177	0.85	2.3	459.5	689.3	66.0	4	32	22	19	18	25	28	--	--	36.7	55.0	66.0	
21.20	24.0	18.0	4	0.94	1.91	183	0.89	2.4	476.3	714.4	72.0	7	32	22	19	18	25	28	--	--	40.0	60.0	72.0	
21.40	25.0	16.3	4	0.94	1.93	186	0.91	2.4	484.8	727.2	75.0	8	32	23	19	18	26	28	--	--	41.7	62.5	75.0	
21.60	25.0	17.0	4	0.94	1.95	186	0.91	2.4	486.6	729.9	75.0	8	32	22	19	18	26	28	--	--	41.7	62.5	75.0	
21.80	26.0	17.7	4	0.95	1.97	189	0.93	2.5	494.9	742.3	78.0	9	32	23	19	18	26	28	--	--	43.3	65.0	78.0	
22.00	28.0	18.3	4	0.96	1.99	194	0.97	2.5	508.7	763.0	84.0	11	33	23	20	18	26	28	--	--	46.7	70.0	84.0	
22.20	21.0	15.8	4	0.93	2.01	174	0.82	2.1	458.3	687.5	63.0	1	31	21	18	17	25	27	--	--	35.0	52.5	63.0	
22.40	22.0	15.7	4	0.93	2.02	177	0.85	2.1	468.7	703.1	66.0	3	32	22	18	17	25	28	--	--	36.7	55.0	66.0	
22.60	29.0	15.5	4	0.96	2.04	197	0.98	2.5	520.0	780.0	87.0	12	33	23	20	19	26	29	--	--	48.3	72.5	87.0	
22.80	22.0	15.0	4	0.93	2.06	177	0.85	2.1	471.0	706.5	66.0	2	32	22	18	17	25	28	--	--	36.7	55.0	66.0	
23.00	16.0	21.9	2	0.96	2.08	157	0.70	1.6	403.1	604.6	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
23.20	16.0	18.4	2	0.96	2.10	157	0.70	1.6	403.6	605.4	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
23.40	15.0	16.1	2	0.95	2.12	154	0.67	1.5	389.5	584.2	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
23.60	20.0	20.0	4	0.93	2.14	171	0.80	1.8	454.7	682.0	60.0	--	31	21	17	17	25	27	--	--	33.3	50.0	60.0	
23.80	18.0	18.0	2	0.98	2.16	164	0.75	1.7	431.9	647.9	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
24.00	11.0	20.8	2	0.91	2.18	137	0.54	1.1	320.6	480.9	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
24.20	12.0	30.0	4	0.88	2.19	141	0.57	1.2	340.1	510.1	44.6	--	31	18	15	14	25	26	--	--	20.0	30.0	36.0	
24.40	20.0	20.0	4	0.93	2.21	171	0.80	1.8	457.6	686.4	60.0	--	31	21	17	16	25	27	--	--	33.3	50.0	60.0	
24.60	15.0	37.5	4	0.89	2.23	154	0.67	1.4	391.8	587.6	49.5	--	31	19	16	15	25	27	--	--	25.0	37.5	45.0	
24.80	47.0	22.1	4	1.01	2.25	236	1.57	4.0	627.8	941.7	141.0	26	34	25	22	20	28	31	--	--	78.3	117.5	141.0	
25.00	27.0	20.3	4	0.95	2.27	192	0.95	2.1	525.0	787.5	81.0	7	32	22	19	18	25	28	--	--	45.0	67.5	81.0	
25.20	40.0	46.0	3	0.90	2.29	222	--	--	--	--	--	20	34	24	21	20	27	30	--	--	66.7	100.0	120.0	
25.40	70.0	55.1	3	0.95	2.31	274	--	--	--	--	--	39	36	27	24	22	30	32	--	--	116.7	175.0	210.0	
25.60	72.0	107.5	3	0.95	2.33	277	--	--	--	--	--	40	36	27	24	22	30	32	--	--	120.0	180.0	216.0	
25.80	80.0	74.8	3	0.97	2.34	289	--	--	--	--	--	44	36	27	24	23	31	33	--	--	133.3	200.0	240.0	
26.00	63.0	47.4	3	0.94	2.36	264	--	--	--	--	--	35	35	26	23	22	30	32	--	--	105.0	157.5	189.0	
26.20	68.0	60.2	3	0.95	2.38	271	--	--	--	--	--	38	36	26	23	22	30	32	--	--	113.3	170.0	204.0	
26.40	82.0	47.4	3	0.97	2.40	291	--	--	--	--	--	44	37	27	24	23	31	33	--	--	136.7	205.0	246.0	
26.60	27.0	18.4	4	0.95	2.42	192	0.95	1.9	533.3	800.0	81.0	5	32	22	18	17	25	28	--	--	45.0	67.5	81.0	
26.80	16.0	21.9	2	0.96	2.44	157	0.70	1.3	410.8	616.2	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
27.00	16.0	20.0	2	0.96	2.46	157	0.70	1.3	411.1	616.7	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
27.20	11.0	18.3	2	0.91	2.48	137	0.54	0.9	322.0	482.9	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
27.40	13.0	19.4	2	0.93	2.50	145	0.60	1.1	361.7	542.5	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
27.60	29.0	21.8	4	0.96	2.51	197	0.98	1.9	553.6	830.4	87.0	7	32	22	19	18	25	29	--	--	48.3	72.5	87.0	
27.80	31.0	23.3	4	0.97	2.53	202	1.03	2.0	576.1	864.2	93.0	9	32	22	19	18	25	29	--	--	51.7	77.5	93.0	
28.00	25.0	19.7	4	0.94	2.55	186	0.91	1.7	521.4	782.1	75.0	1	31	21	18	17	25	28	--	--	41.7	62.5	75.0	
28.20	28.0	30.1	3	0.87	2.57	194	--	--	--	--	--	5	32	22	18	17	25	28	--	--	46.7	70.0	84.0	
28.40	35.0	23.8	4	0.98	2.59	211	1.17	2.3	632.1	948.1	105.0	13	33	23	19	18	26	29	--	--	58.3	87.5	105.0	
28.60	20.0	16.7	4	0.93	2.61	171	0.80	1.4	468.8	703.2	60.0	--	31	20	16	16	25	27	--	--	33.3	50.0	60.0	
28.80	21.0	16.5	4	0.93	2.63	174	0.82	1.5	481.3	721.9	63.0	--	31	20	17	16	25	27	--	--	35.0	52.5	63.0	
29.00	20.0	16.7	4	0.93	2.65	171	0.80	1.4	469.5	704.3	60.0	--	31	20	16	16	25	27	--	--	33.3	50.0	60.0	
29.20	31.0	22.1	4	0.97	2.67	202	1.03	1.9	582.9	874.4	93.0	8	32	22	19	18	25	29	--	--	51.7	77.5	93.0	
29.40	23.0	18.1	4	0.94	2.68	180	0.87	1.5	505.2	757.8	69.0	--	31	20	17	16	25	28	--	--	38.3	57.5	69.0	
29.60	54.0	35.3	3	0.92	2.70	249	--	--	--	--	--	27	34	25	21	20	28	31	--	--	90.0	135.0	162.0	
29.80	35.0	13.1	4	0.98	2.72	211	1.17	2.2	641.8	962.7	105.0	11	33	22	19	18	26	29	--	--	58.3	87.5	105.0	
30.00	29.0	--	3	0.87	2.74	197	--	--	--	--	--	5	32	22	18	17	25	29	--	--	48.3	72.5	87.0	

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA**CPT****2**

riferimento

002-2024

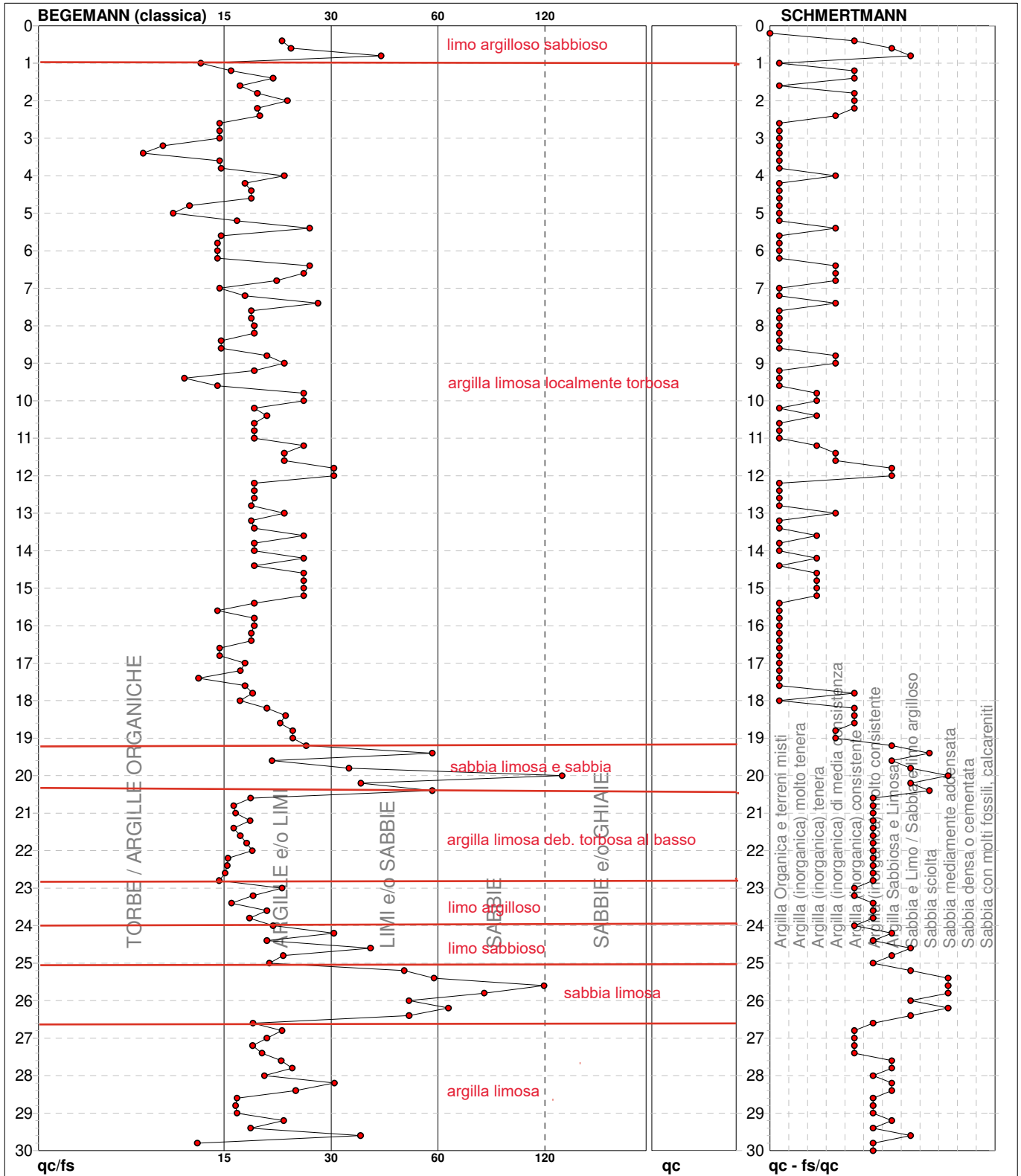
certificato n°

67-24

n° verb. accett. 01677 del 08-08-24

Committente: **AMBIENTE S.P.A.**Cantiere: **Borgo Faina**Località: **Borgo Faina - comune Ravenna**U.M.: **kg/cm²**Data esec.: **30/08/2024**Scala: **1:150**Data certificato: **04/09/2024**Pagina: **3/17**

Elaborato:

Falda: **-2,40 m da p.c.**

Torbe / Argille org. :	22 punti, 14,77%	Argilla Organica e terreni misti:	56 punti, 37,58%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	12 punti, 8,05%
Argille e/o Limi :	111 punti, 74,50%	Argilla (inorganica) tenera:	10 punti, 6,71%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	8 punti, 5,37%
Limi e/o Sabbie :	12 punti, 8,05%	Argilla (inorganica) media consist.:	14 punti, 9,40%	Sabbia sciolta:	2 punti, 1,34%
Sabbie:	4 punti, 2,68%	Argilla (inorganica) consistente:	17 punti, 11,41%	Sabbia mediamente addensata:	5 punti, 3,36%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	24 punti, 16,11%		

FON000

Sperimentatore

Direttore

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

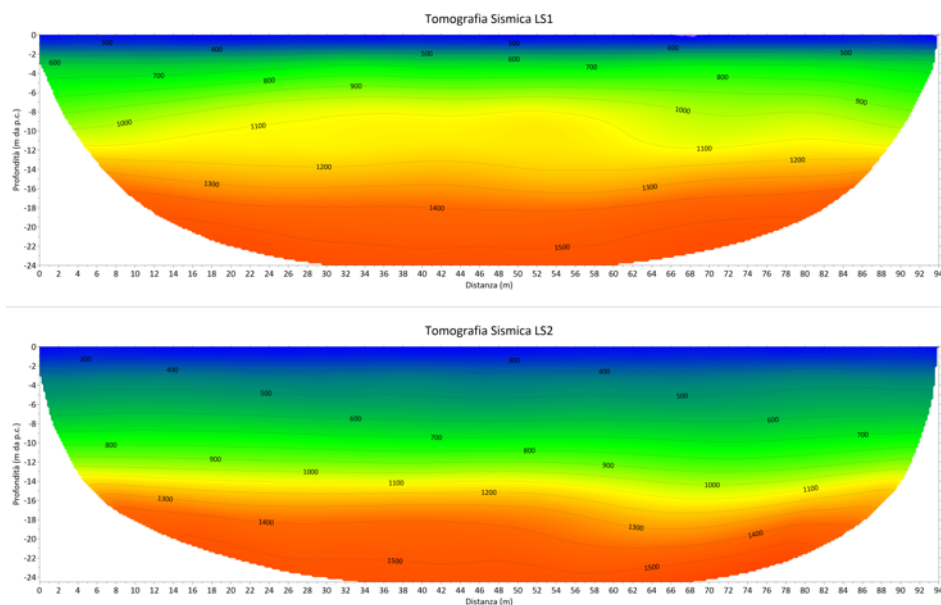
PROVA N° CPT 1 PIAZZAMENTO



PROVA N° CPT 2 PIAZZAMENTO



RILIEVI GEOFISICI DI TIPO SISMICO
PROPEDEUTICI AL PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO
IN LOCALITÀ BORGO FAINA, COMUNE DI RAVENNA (RA)



RAPPORTO LAVORI



Via Emilia Levante 355 – 48014 Castel Bolognese (RA)
e-mail: info@geoexploration.net
pec: geoexploration.srl@pec.it

Committente

Ambiente S.p.A

Via Frassina, 21
54033 Nazzano – Carrara (MS)

CODICE	DATA	REV.	REDATTO	VERIFICATO
GE_R49_24	06/09/2024	0	DOTT. GEOL. DIEGO PERACCINI	ING. GIUSEPPE MAINARDI

Indice

1	INDICAZIONI GENERALI	2
2	SISMICA A RIFRAZIONE CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA.....	3
2.1	MODALITÀ OPERATIVE ACQUISIZIONE DATI SISMICI.....	4
2.2	ELABORAZIONE DATI SISMICI	5
2.3	ESITO DELL'INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA	7
3	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI	8
3.1	ANALISI CON METODO SISMICO MASW-REMI.....	9
3.2	ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI MASW-REMI	11
4	RILIEVO SISMICO A STAZIONE SINGOLA (HVSr).....	12
4.1	STRUMENTAZIONE HVSr.....	13
4.2	ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI HVSr.....	14
4.3	VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE MISURE HVSr.....	15

Allegati

ALLEGATO 1 – DROMOCRONE TOMOGRAFIA SISMICA (ONDE P)
ALLEGATO 2 – ELABORATI MASW1-MASW2
ALLEGATO 3 – ELABORATO HVSr
ALLEGATO 4 – REPORT FOTOGRAFICO INDAGINI GEOFISICHE

Tavole

TAVOLA 1 - PLANIMETRIA INDAGINI SISMICHE	(Foglio A3 – scala 1:4000)
TAVOLA 2 – TOMOGRAFIE SISMICHE LS1-LS2	(Foglio A3 – scala 1:250)
TAVOLA 3 – INTERPRETAZIONE TOMOGRAFIE SISMICHE	(Foglio A3 – scala 1:250)

1 INDICAZIONI GENERALI

Su incarico di Ambiente S.p.A. è stata eseguita un'indagine geofisica di tipo sismico propedeutica al progetto di un impianto agrivoltaico in località Borgo Faina, Comune di Ravenna (RA).

Nello specifico sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- n.2 tomografie sismiche a rifrazione acquisite mediante onde sismiche attive di compressione (P), denominate LS1 e LS2, utilizzando stendimenti con distanza intergeofonica 2 m e punti di energizzazione ogni 4 geofoni per una lunghezza di 94 m ciascuna (complessivi di 188 m);
- N.2 rilievi sismici mediante la tecnica dell'analisi delle onde di superficie con tecnica integrata MASW-REMI utilizzando stendimenti con distanza intergeofonica variabile da 2 a 4 m una lunghezza di 60 m per MASW1 e 80 m per MASW 2 (complessivi di 140 m);
- N.1 Rilievo sismico a stazione singola del tipo HVSr

L'indagine sismica a rifrazione ha avuto lo scopo di caratterizzare i terreni dal punto di vista geolitologico mediante l'associazione delle velocità sismiche ottenute alla granulometria dei terreni e al consolidamento.

La prospezione sismica integrata MASW-REMI è stata finalizzata a ottenere la diagrafia delle velocità sismiche delle onde di taglio per la determinazione del parametro $V_{s_{eq}}$ o $V_{s_{30}}$ ai sensi delle NTC18.

L'indagine a stazione singola HVSr è stata effettuata per misurare le frequenze fondamentali di risonanza nell'ambito della caratterizzazione sismica del primo sottosuolo.

I dati geofisici sono stati acquisiti nel giorno 27 agosto 2024. Le fotografie delle fasi di acquisizione dati sono riportate in Allegato 3.

Per tutti gli stendimenti geofisici è stato eseguito il rilievo topografico con strumentazione GPS differenziale collegato alla rete ItalPos.

L'ubicazione in scala 1:4000 è riportata sulla planimetria in Tavola 1.

Segue una breve descrizione dei metodi geofisici utilizzati e delle modalità esecutive. A conclusione del rapporto lavori vengono commentati i risultati ottenuti dall'elaborazione e restituzione dati.

2 SISMICA A RIFRAZIONE CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde sismiche rifratte tra il punto d'energizzazione in superficie e varie postazioni di ricezione (geofoni) disposte sul profilo del terreno. L'analisi della velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali (P) e/o trasversali (S) nel sottosuolo, ottenuta conoscendo la distanza sorgente-ricevitore e il relativo tempo d'arrivo dell'impulso sismico, consente di stimare le proprietà geomeccaniche dei terreni e delle rocce, essendo i valori di velocità proporzionali al grado di consistenza dei mezzi attraversati.

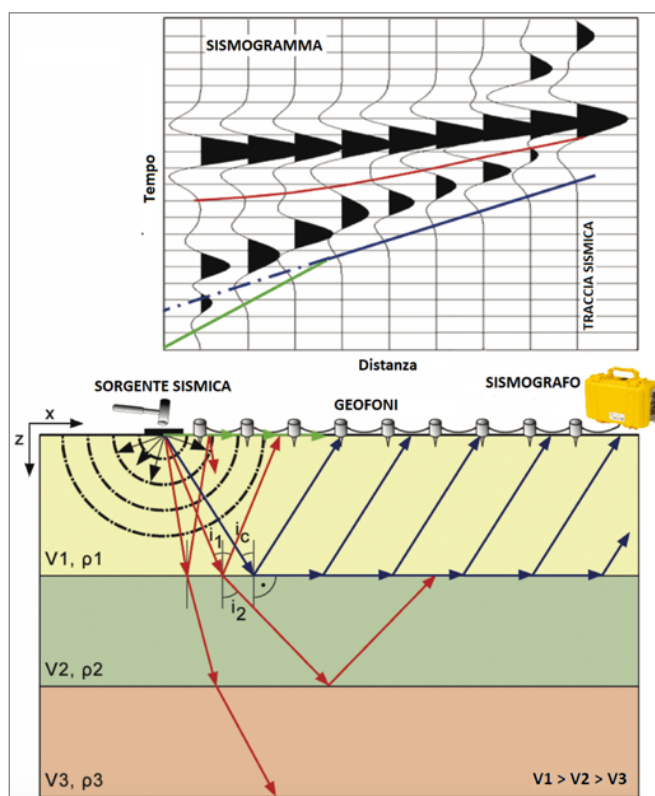


Figura 1 - Schema sismica a rifrazione: modello a strati con velocità crescenti, raggi sismici teorici (verde: onde diretta; blu: onda rifratta con angolo critico; rosso: onda riflessa) e risultante sismogramma

Mediante l'analisi tomografica il sottosuolo indagato viene suddiviso in minime celle analitiche; tale procedura consente, rispetto ad analisi standard per rifrattori, un'elaborazione più dettagliata permettendo di distinguere anche interni minimi con caratteristiche differenziate per variazioni di consistenza, grado di alterazione/fratturazione, litologia, granulometria o addensamento. Le prospezioni sismiche con tecnica tomografica possono dunque contribuire alla definizione dello stato dei materiali indagati per la valutazione di ampie correlazioni stratigrafico-geomeccaniche.

Riguardo alla correlazione con i contatti litostratigrafici, l'identificazione dei sismostrati rilevati dipende dal grado di effettiva omogeneità dello spessore litostratigrafico. Infatti spesso interferiscono, con effetti opposti, fenomeni di cementazione o di disaddensamento al tetto e/o al letto dello strato geologico, i quali causano rispettivamente un innalzamento e un abbassamento dei valori di velocità sismica.

Si deduce quindi che non necessariamente livelli di discontinuità fisica e delimitazioni geologiche coincidono; al contrario, la prospezione geosismica a rifrazione tomografica grazie al suo dettaglio analitico può mettere in luce importanti effetti di anisotropia laterale anche all'interno di un singolo elemento litostratigrafico.

2.1 MODALITÀ OPERATIVE ACQUISIZIONE DATI SISMICI

Le operazioni di campagna per consentire un'elaborazione tomografica dettagliata prevedono l'acquisizione di un elevato numero di registrazioni sismiche, sia lungo lo stendimento che in *offset* (tiri esterni). In questo modo si ottiene una copertura omogenea dei raggi sismici teorici per l'intera sezione di sottosuolo indagato.

I geofoni vengono posizionati sul terreno ad intervalli predefiniti e collegati questi tramite morsetti bipolari al cavo connesso al sismografo. Una volta verificati i segnali tra apparato d'energizzazione e di ricezione, vengono realizzate alcune battute di prova al fine di scegliere i parametri ottimali d'acquisizione sul sismografo. Dopo aver impostato i parametri di acquisizione si procede a registrando i dati sismici su ogni punto di acquisizione (*shot point*) prestabilito, in genere ogni 4 geofoni. Per ogni *shot point* vengono acquisite minimo 4 energizzazioni singole, in modo da sommare gli impulsi registrati ed aumentare il rapporto segnale/rumore ambientale.

Nel caso in oggetto le linee sismiche a rifrazione sono state acquisite in onde P con n.48 geofoni infissi nel terreno a interdistanza 2 m e punti d'energizzazione ogni 4 geofoni.

Come sorgente di energia è stata utilizzata una massa battente da 6 kg dotata di un sensore piezoelettrico per avviare la registrazione (*time-break*); tale segnale viene trasmesso via cavo o tramite impulsi radio (radio-trigger) al sismografo.

Per captare gli eventi sismici sono stati utilizzati geofoni da 10 Hz con asse strumentale verticale per ricezione delle onde P. Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni sono stati acquisiti utilizzando un sismografo Geometrics del tipo Geode.

Il Geode è un sistema d'acquisizione per sismica ad alta risoluzione utilizzabile per indagini sismiche a riflessione bidimensionali/tridimensionali e indagini a rifrazione di superficie, avente le seguenti principali caratteristiche tecniche:

- Numero di canali per ogni modulo: 24
- Frequenza di campionamento in μ s: 125, 250, 500, 1000, 2000
- Conversione A/D a 24 bits
- Escursione dinamica misurata: 117 dB
- Alimentazione 12 V
- Filtri digitali

I dati acquisiti, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, vengono visualizzati per il controllo della qualità su un pc portatile collegato al sismografo ed infine registrati sul disco rigido del medesimo computer.

2.2 ELABORAZIONE DATI SISMICI

L'elaborazione dei dati avviene interamente con software Geogiga Seismic Pro 9.1 mediante il modulo specifico dedicato alla tomografia sismica denominato DW Tomo.

Il primo passo per l'elaborazione tomografica dei dati è costituito dall'inserimento di tutte le informazioni relative alla geometria del rilievo, ovvero le progressive metriche e le quote relative o assolute di tutti i punti sorgente (*shot points*) e di tutti i ricevitori (geofoni). L'inserimento delle informazioni topografiche è fondamentale per una corretta modellazione del tragitto teorico dei raggi sismici (*ray tracing*) nel sottosuolo.

Il secondo processo fondamentale è denominato *picking* dei primi arrivi ed avviene con la lettura da parte dell'operatore dei tempi d'arrivo degli eventi sismici diretti e rifratti. Tramite questo passaggio il software costruisce il grafico delle dromocrone (tempi-distanze dei primi arrivi per ogni *shot point*, Allegato 1) e consente di controllare i tempi reciproci e il parallelismo delle curve.

Successivamente viene creato un modello di velocità iniziale basato sull'analisi delle velocità desunte dalle pendenze delle semirette che costituiscono le dromocrone. Sulla base di questo modello e viene delineato il *ray tracing* curvilineo (Figura 2 e Figura 3) e inizia il processo iterativo di inversione dati l'applicazione di procedure tipo S.I.R.T. (*Simultaneous Iterative Reconstruction Technique*) le quali forniscono valori di velocità sismica per partizioni unitarie mediante celle di analisi di dimensione metrica.

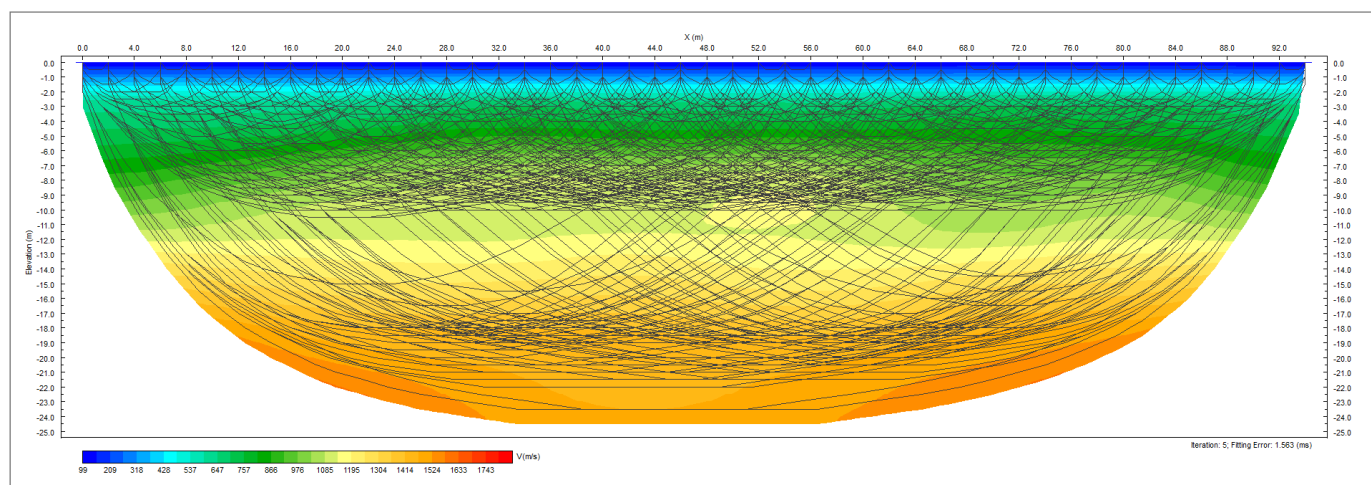


Figura 2 – Percorso teorico dei raggi sismici (*ray tracing*) tomografia sismica LS1

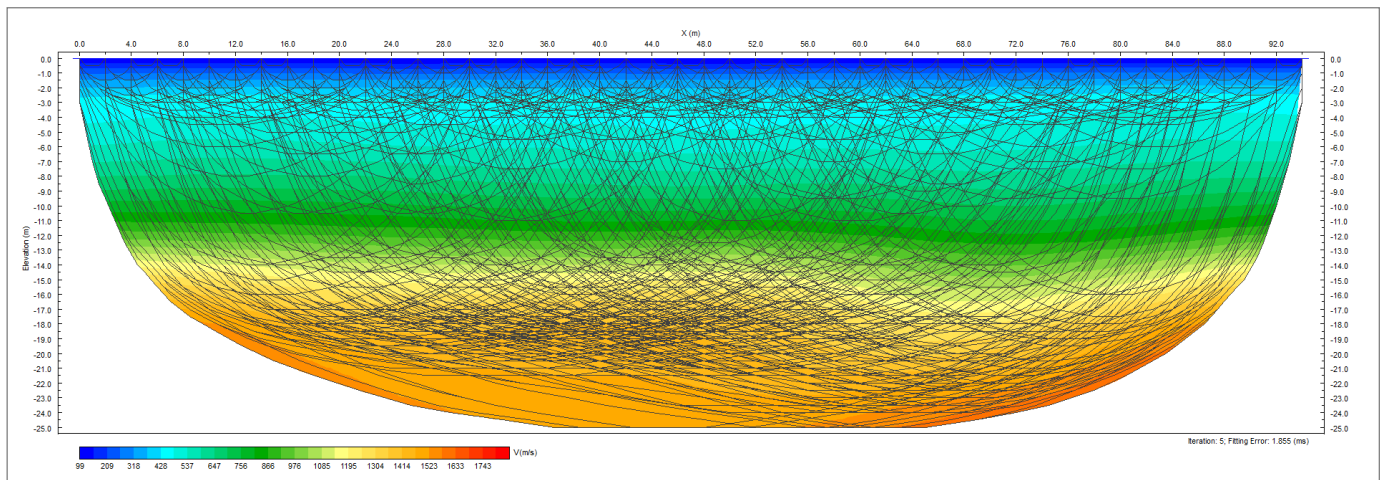


Figura 3 – Percorso teorico dei raggi sismici (ray tracing) tomografia sismica LS2

Questa procedura comporta che il software, tramite successive iterazioni dalla prima modellazione del sottosuolo, effettui il tentativo di far convergere (dal punto di vista statistico fino a quando gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati sono minimi rispetto a quelli definiti in input) i dati modellati con quelli reali e corrispondenti ai tempi ottenuti dalle dromocrone originali.

La profondità d'indagine è funzione della lunghezza dello stendimento, della distanza dei punti d'energizzazione e della velocità del materiale attraversato dai raggi sismici.

La geometria d'investigazione dei tracciati sismici mediante elaborazione tomografica consente infatti il raggiungimento di profondità massime al centro della sezione (la figura geometrica della sezione sismica è assimilabile a quella di un trapezio con la base maggiore in superficie) di circa 1/4-1/6 della lunghezza dello stendimento.

Per quanto riguarda la restituzione delle sezioni sismiche, questa è avvenuta con la ricostruzione del campo di velocità (per celle unitarie) del terreno investigato. Il file di dati ottenuto per ogni linea sismica elaborata mediante procedura tomografica è stato trasferito in un software di contouring per consentire le migliori facoltà di rappresentazione (definizione della scala della sezione e della suddivisione delle contour-line e delle campiture di colore) e per la redazione degli elaborati finali.

La restituzione finale è composta dalla distribuzione areale della velocità delle onde di compressione (V_p) mediante mappatura a campiture di colore e a *contour-line* (Tavola 2).

Sul lato sinistro delle sezioni sismiche sono riportate le quote in metri mentre alla base si trovano la distanza in metri della proiezione sull'orizzontale dello stendimento sismico.

2.3 ESITO DELL'INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA

Ai valori delle velocità sismiche V_p ottenuti è possibile associare un significato nei riguardi del grado di compattezza e dello stato di alterazione solo contestualmente alle caratteristiche geolitologiche dei materiali esistenti nell'area in esame.

Pertanto, nel contesto stratigrafico oggetto di studio, i dati sismici sono interpretati in base al gradiente di velocità sismica delle onde di compressione (V_p) alle esperienze pregresse e ai grafici forniti dalle prove penetrometriche CPT effettuate contestualmente nell'ambito dello stesso studio.

Nella zona oggetto di studio sono state quindi presi come riferimento i valori di velocità delle onde sismiche V_p che hanno permesso la redazione di Tabella 1.

Litologia	Velocità sismica V_p (m/s)
1) Suolo e terreno agricolo superficiale poco consistente	< 400
2) Depositi alluvionali prevalentemente argillosi da poco a mediamente consolidati	400 - 1000
3) Depositi alluvionali argillosi e limosi mediamente consolidati	1000 - 1400
4) Depositi argillosi consolidati e/o depositi limoso-sabbiosi	> 1400

Tabella 1 – Litotipi e velocità indicative delle onde sismiche V_p associate

La profondità d'indagine raggiunta con questi stendimenti è stata circa 24 m da piano campagna.

Sulle sismosezioni tomografiche a rifrazione è ben definita la successione verticale delle velocità sismiche V_p che aumenta in proporzionalmente alla consistenza dei terreni e quindi con l'aumentare della profondità d'indagine. Per i dettagli si rimanda agli elaborati forniti in Tavola 2 e relativa interpretazione in Tavola 3.

3 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI

Facendo riferimento alla nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica (NTC2018), la caratterizzazione geotecnica dei terreni dal punto di vista sismico richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo delle velocità delle onde di taglio V_s degli strati del terreno presenti nel sito di studio.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell'*i*-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La normativa, sulla base del suddetto profilo, fornisce una classificazione dei suoli suddivisa nelle tipologie A, B, C, D ed E (rif. Tab. 3.2.II delle NTC2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento

delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s

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

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire rilievi in foro di sondaggio meccanico con tecnica downhole se si dispone di un foro singolo o cross-hole fra due fori oppure prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali utilizzando geofoni orizzontali con opportune energizzazioni del terreno o tramite geofoni verticali analizzando la dispersione delle onde di superficie.

3.1 ANALISI CON METODO SISMICO MASW-REMI

MASW è l'acronimo di Multi-channel Analysis of Surface Waves (Analisi Multi-canale di Onde di Superficie). Ciò indica che il fenomeno che si analizza è la propagazione delle onde di superficie. Più specificatamente si analizza la dispersione delle onde di superficie (cioè il fatto che frequenze diverse - ovvero lunghezze d'onda diverse - viaggiano a velocità diversa). In sostanza le varie componenti (frequenze) del segnale sismico che si propaga viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo.

La tecnica MASW è considerata un metodo attivo: le onde di superficie sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da 24 geofoni verticali con frequenza naturale 4,5 Hz.

La tecnica REMI (acronimo di REfraction MIcrotremors – microtremori rifratti) invece è considerata un metodo passivo: lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche *microtremori*) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali). Le due tecniche indagano bande spettrali differenti. Il metodo attivo consente di ottenere, in modo ottimale, una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz fornendo informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 10-20 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

Il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione, in modo ottimale, nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente fino a 30-40 m).

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

Nell'approccio teorico di questi metodi di analisi si utilizzano le onde superficiali di Rayleigh per la determinazione dei parametri di comportamento meccanico dei terreni a bassi livelli di deformazione, modulo di taglio e coefficiente di smorzamento, e si basa sulle proprietà dispersive che queste onde subiscono durante l'attraversamento di tali terreni.

Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde superficiali che si trasmettono sulle superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo, e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione P e di taglio S. In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo dispersivo e vengono definite di pseudo-Rayleigh o di superficie. La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza, le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore.

Le lunghezze d'onda più ampie (ovvero le frequenze più basse) sono influenzate dalla parte più profonda, mentre le piccole lunghezze d'onda (le frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale (Figura 4)

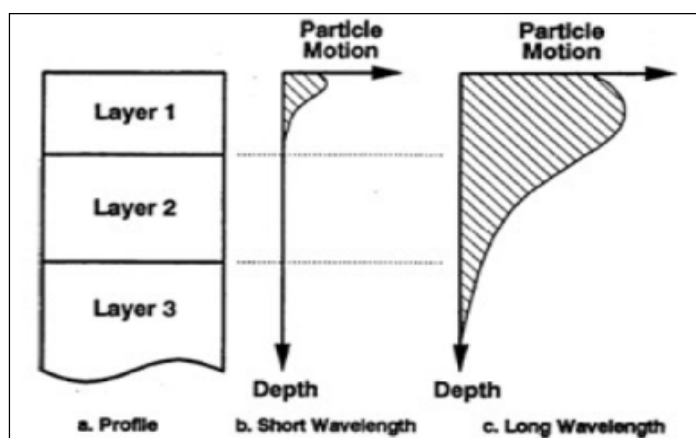


Figura 4 – Profondità d'indagine e lunghezza d'onda sismica

Poiché tipicamente la velocità delle onde sismiche aumenta con la profondità, ciò si rifletterà nel fatto che le frequenze più basse (delle onde di superficie) viaggeranno ad una velocità maggiore rispetto le frequenze più alte. La profondità Z è calcolata attraverso la lunghezza d'onda massima

$$Z = \lambda_{\max}/2$$

dove:

$\lambda_{\max} = V/f$, V è la velocità di fase (m/s) e f è la frequenza (hz)

3.2 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI MASW-REMI

L'indagine sismica è stata eseguita utilizzando, sia per il MASW che per il REMI uno stendimento composto da 24 geofoni verticali con frequenza naturale di 4,5 Hz posizionati sul terreno ad intervalli regolari da 2 a 4 m metri, per una lunghezza complessiva dello stendimento pari a 60 metri (MASW1) e 80 m (MASW2). I dati sono stati registrati mediante un sismografo Geometrics GEODE a 24 canali con filtri disinseriti utilizzando i seguenti parametri:

- MASW - Velocità di campionamento (sample rate) di 0.125 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi; registrazione di un file composto dalla somma di tre energizzazioni (aumento del rapporto segnale/rumore) in offset di 3 m;
- REMI - Velocità di campionamento (sample rate) di 2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 32 secondi; registrazione di n.10 files singoli per un ampio campionamento dei microtremiti ambientali.

L'elaborazione congiunta dei dati sismici è avvenuta tramite software dedicato *Surface Plus* (Geogiga) che è in grado di analizzare le onde di superficie sia attive che passive. Il software permette di caricare contemporaneamente tutte le registrazioni e analizzarle attraverso le seguenti principali funzioni:

1. Gestione della geometria di acquisizione
2. Riduzione del disturbo;
3. Controllo del range delle frequenze con l'analisi dello spettro dell'ampiezza;
4. Calcolo dello spettro di dispersione nel dominio F-K, F-V o F-P con il metodo FK ad alta risoluzione;
5. Picking della curva di dispersione interattivo sullo spettro;
6. Modello iniziale costruito automaticamente;
7. Inversione della curva di dispersione tramite algoritmo genetico (GA);
8. Calcolo del parametro V_{s30}/V_{seq}
9. Visualizzazione simultanea delle curve di dispersione e di velocità V_s ;
10. Esportazione dei profili V_s

L'inversione finale dei dati restituisce un grafico che riporta la curva di dispersione con un'immagine che mostra i valori di lettura delle frequenza/velocità.

Il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio di MASW, con l'indicazione del parametro V_{s30} calcolato è riportato in Allegato 2.

Il valore del parametro V_{s30} è risultato essere di **174 m/s** (MASW1) e **168 m/s** (MASW2). Entrambi i valori rientrano nella tipologia **D** - *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s*

4 RILIEVO SISMICO A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

Le misure sismiche HVSR o H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) sono indagini geofisiche a stazione singola finalizzate alla caratterizzazione sismica di sito tramite la stima delle frequenze fondamentali di risonanza. Tali indagini sono state eseguite al fine di mettere in luce possibili fenomeni di doppia risonanza tra terreno e struttura. Il tipo di stratigrafia che tale metodologia può restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le misure dei microtremori consentono di ottenere un dato fondamentale del punto di misura e cioè la frequenza propria di risonanza della coltre sedimentaria. Il suolo è assimilabile ad un corpo visco - elastico ed è pertanto possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione.

Il rumore sismico, noto anche come microtremore vista la lieve entità delle oscillazioni che lo compongono, è generato da fenomeni naturali (onde oceaniche, vento) e antropici ed è presente ovunque sulla superficie terrestre. Nelle zone in cui non sia presente alcuna sorgente locale, in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, presentano picchi prodotti dalle onde oceaniche sulle coste. Queste componenti spettrali vengono attenuate poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri e costituiscono la "base" del rumore di fondo. A queste onde, sempre presenti, si sovrappongono le onde derivanti da sorgenti locali di natura antropica (traffico, attività produttive, ecc.) e naturale.

Le basi teoriche del metodo H/V sono abbastanza semplici nel caso di un mezzo costituito da uno strato poggiante direttamente sul bedrock sismico. Considerando ad esempio due strati (1=suolo e 2=bedrock) caratterizzati da diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e velocità delle onde (V_1 e V_2).

Un'onda che viaggia nel suolo (mezzo 1) all'interfaccia con il bedrock, viene in parte riflessa e va ad interferire con quelle incidenti, sommandosi, fino a raggiungere le ampiezze massime (condizioni di risonanza). La condizione di risonanza si raggiunge quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H dello strato 1. La frequenza fondamentale (F_r) dello strato 1, relativamente alle onde S, è quindi pari a:

$$F_r = \frac{V_{s1}}{4H}$$

In presenza di più strati questo fenomeno è sommabile.

Questo significa che la curva H/V relativa ad un terreno stratificato contiene informazioni sulle frequenze di risonanza (ed agli spessori) di tutti gli strati presenti. La risonanza è la tendenza di un sistema ad oscillare con maggior ampiezza quando eccitato da energia ad una specifica frequenza, detta frequenza naturale di vibrazione del sistema, autofrequenza o frequenza di risonanza.

Nel caso degli edifici la risonanza è controllata dalle geometrie e dai materiali di costruzione mentre la frequenza di risonanza è controllata principalmente dall'altezza.

La frequenza naturale di risonanza di un edificio può essere stimata, in prima approssimazione, dividendo 10 Hz per il numero dei piani dell'edificio. Tutte le strutture hanno una frequenza naturale alla quale la sovrapposizione di energia alla stessa frequenza amplifica il moto. Se il moto sismico indotto dal terremoto eccita la base di un edificio a frequenze prossime a quelle di risonanza naturale dell'edificio stesso, l'amplificazione del moto risultante può diventare distruttiva e portare al collasso della struttura (effetto della Doppia Risonanza). Una struttura si ritiene salva dalla possibilità di doppia risonanza col terreno solo quando la frequenza propria del terreno è superiore a quelle principali della struttura stessa. Una relazione tipica tra l'altezza di un edificio in c.a. e la frequenza del suo primo modo di vibrare è data nel grafico seguente (ridisegnata da Masi et al., 2008).

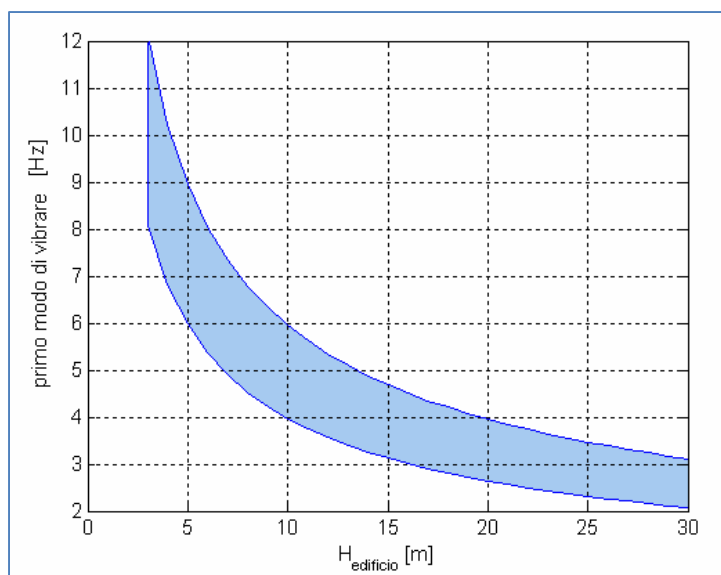


Figura 5 – Relazione tra l'altezza di un edificio e la frequenza del suo primo modo di vibrare (Masi et al., 2008).

4.1 STRUMENTAZIONE HVSR

La strumentazione utilizzata è costituita dal sensore triassiale PASI Gemini-2, che ottimizza la misura del microtremore grazie ad un sensore con frequenza nominale di 2Hz di frequenza naturale ad alta sensibilità.

Il sensore è costituito da 3 canali con configurazione: Z = verticale, X = nord-sud, Y= est-ovest che trasmette il segnale ad un sistema di acquisizione digitale. Il sensore utilizza elementi di alta stabilità e l'assemblaggio nel contenitore garantisce una ortogonalità assoluta degli elementi.

Il moto del terreno è amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale direttamente su PC. Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate in Tabella 2.

Specifiche scheda acquisizione: Alimentazione: da porta USB Conversione dati: A/D Sigma-Delta a 24 bit reali Campionamento: freq.max.1KHz, simultaneo su 3 can. Rapporto Segnale/Rumore: max. 117db Banda passante a +/- 0.1 dB: 108Hz Banda passante a -3dB: 212Hz
Specifiche sensore Gemini-2 Freq.Naturale di risonanza: 2 Hz +/-10% Sensibilità: 2 V/cm•S ⁻¹ +/- 5% Resistenza interna: 5.8kΩ +/-5% Damping: 0.7 +/-10% Distorsione armonica: ≤ 0.2% Resistenza d'isolamento: ≥ 10 MΩ Temp.funzionamento: da -25°C a + 55°C Bloccaggio sensori: automatico per il trasporto Dimensioni: diam.128mm, h.175mm Peso: 2.15 kg

Tabella 2 – Specifiche tecniche PASI Gemini-2

4.2 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI HVSR

L'acquisizione dei dati avviene tramite i seguenti parametri di *input*:

- Numero tracce: 3
- Durata registrazione: 1200 s
- Frequenza di campionamento: 200.00 Hz
- Numero campioni: 360000
- Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Per l'elaborazione dei segnali viene utilizzato il software dedicato EasyHVSR di GeoStru che analizza il segnale mediante i seguenti parametri:

- Numero totale finestre selezionate: 80
- Numero finestre incluse nel calcolo: 80
- Dimensione temporale finestre: 20.000 s
- Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi
- Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
- Coefficiente di banda: 40.00

A seguito di tale procedimento vengono selezionate le finestre di analisi nelle tracce sismiche delle tre direzioni, i grafici degli spettri medi nelle tre direzioni e le mappe di stazionarietà e direzionalità degli spettri. Tutti i grafici sono riportati in Allegato 2.

Il risultato finale è dato dal rapporto spettrale H/V rappresentato mediante i seguenti parametri:

- Frequenza massima: 20.00 Hz
- Frequenza minima: 1.00 Hz
- Passo frequenze: 0.10 Hz
- Tipo lisciamento:: Konno & Ohmachi
- Percentuale di lisciamento: 10.00 %
- Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

In Allegato 3 si riportano inoltre i rapporti di affidabilità della curva H/V e del picco ottenuto.

Nel caso in esame il valore della frequenza di picco H/V è risultato essere di 1.2 ± 0.2 Hz.

4.3 VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE MISURE HVSR

Come metodo di valutazione della qualità tecnica delle misure HVSR acquisite si propone la classificazione proposta da Albarello et. al. (2010). L'Obiettivo della classificazione è fornire una indicazione immediata circa la qualità delle singole misure H/V, con lo scopo di aiutare gli operatori nella fase interpretativa e nel confronto con altri dati osservati. La classificazione si divide in 3 classi principali:

- Classe A: H/V affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola.
 1. la forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (stazionarietà)
 2. le variazioni azimuthali di ampiezza non superano il 30% del massimo (isotropia)
 3. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse (assenza di disturbi)
 4. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (plausibilità fisica)
 5. i criteri di SESAME per una curva H/V attendibile (primi 3 criteri) sono verificati (robustezza statistica)
 6. la misura è durata almeno 15/20 minuti (durata)

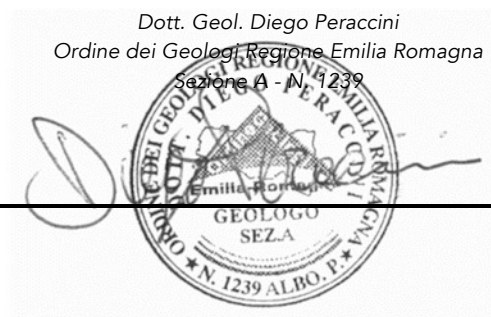
Eccezione per la Classe A: misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo (tipicamente > 1 km) possono non mostrare alcun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, a causa dell'assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. In questi casi, in cui la curva H/V apparirà piatta e con ampiezza circa pari a 1, il criterio 5 risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile.

- Classe B: curva H/V sospetta (da "interpretare"): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze; almeno una delle condizioni della classe A non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell'eccezione per la Classe A
- Classe C: curva H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata
 1. misura di tipo B nella quale la curva H/V mostra una ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura
 2. misura di tipo B nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di potenziale interesse

Per le sole Classi A e B si possono pertanto definire due sottoclassi delle classi precedenti, ossia:

- Tipo 1. Presenta almeno un picco "chiaro" secondo i criteri di SESAME: possibile risonanza;
- Tipo 2. Non presenta picchi "chiari" nell'intervallo di frequenze di interesse: assenza di risonanza.

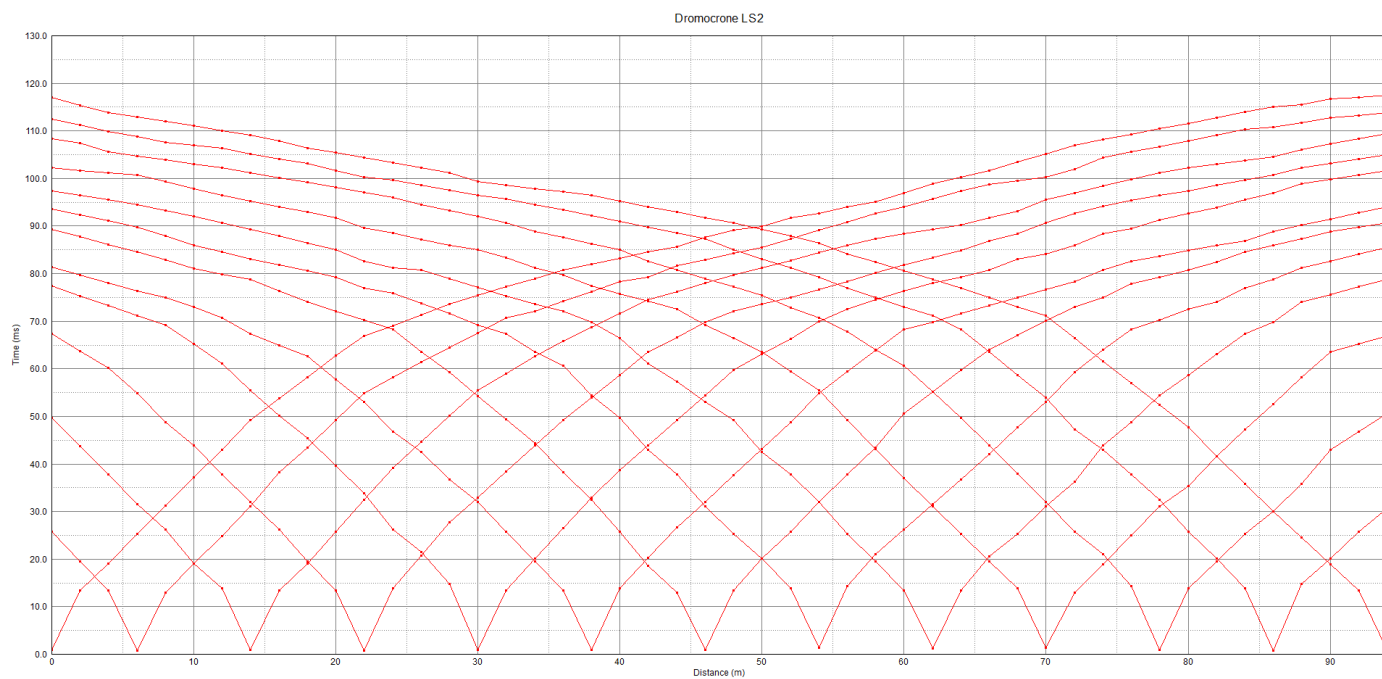
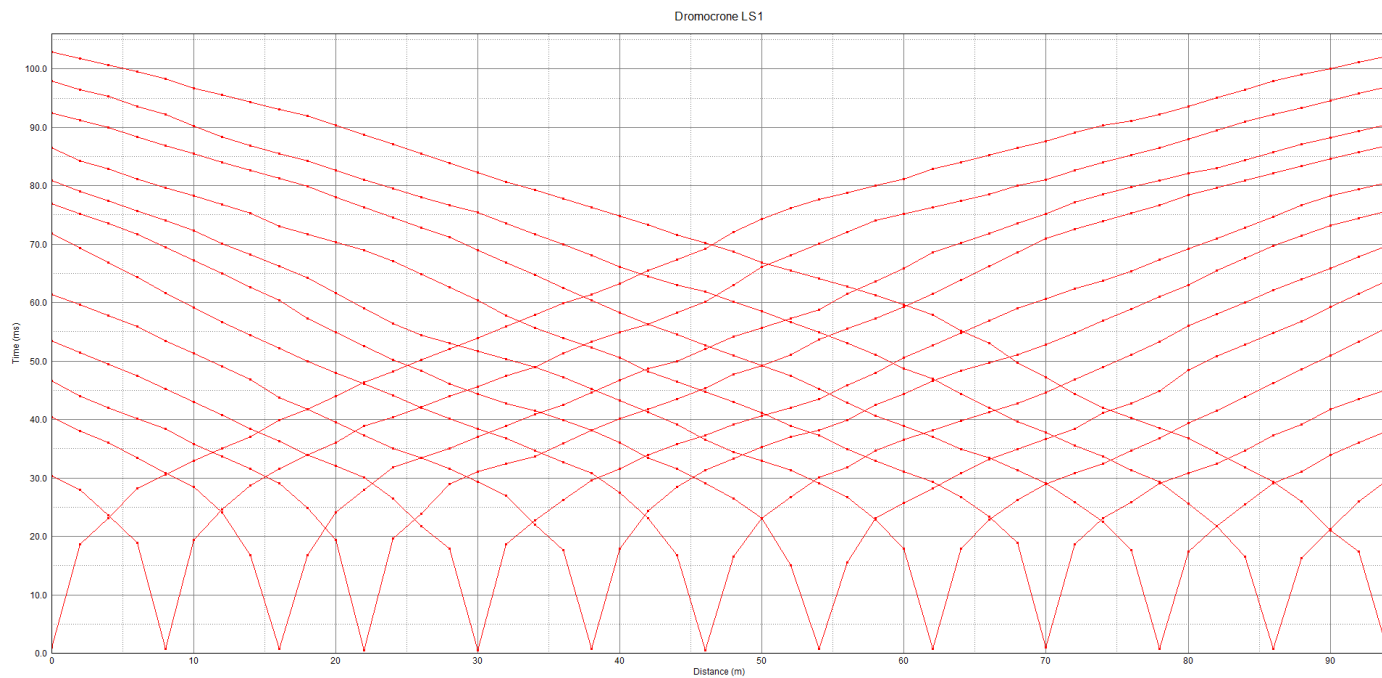
Castel Bolognese, 06/09/2024



Dott. Ing. Giuseppe Mainardi
Ordine degli Ingegneri Provincia di Ravenna
Sezione A – Settore A - N. 1826



ALLEGATO 1 – DROMOCRONE TOMOGRAFIA SISMICA (ONDE P)



Allegato 2a - Prova MASW-REMI 1

Committente: Ambiente S.p.A.

Cantiere: Impianto Agrivoltaico

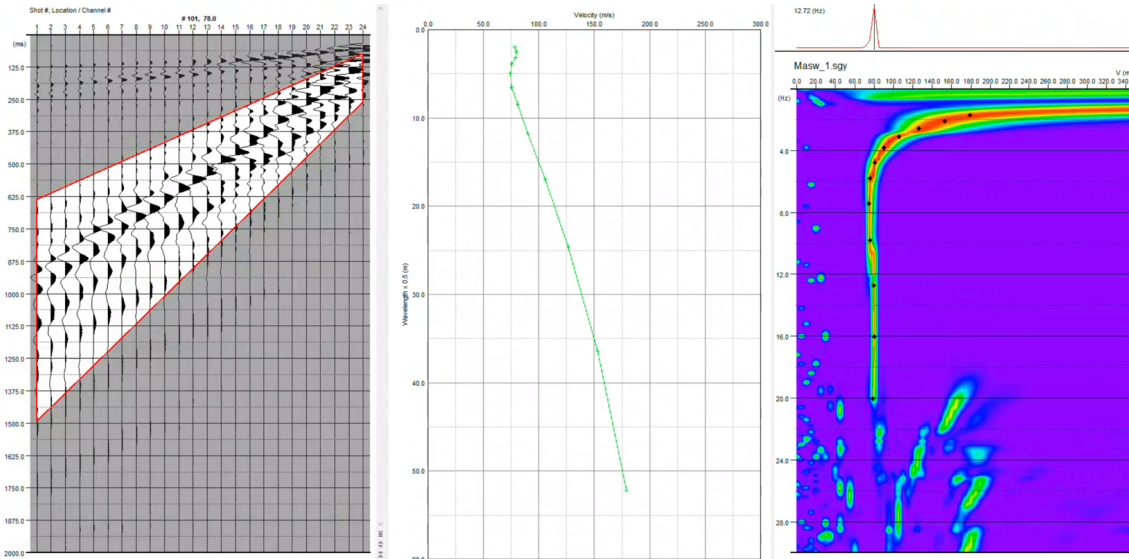
Località: Borgo Faina (RA)

Data: 27/08/2024

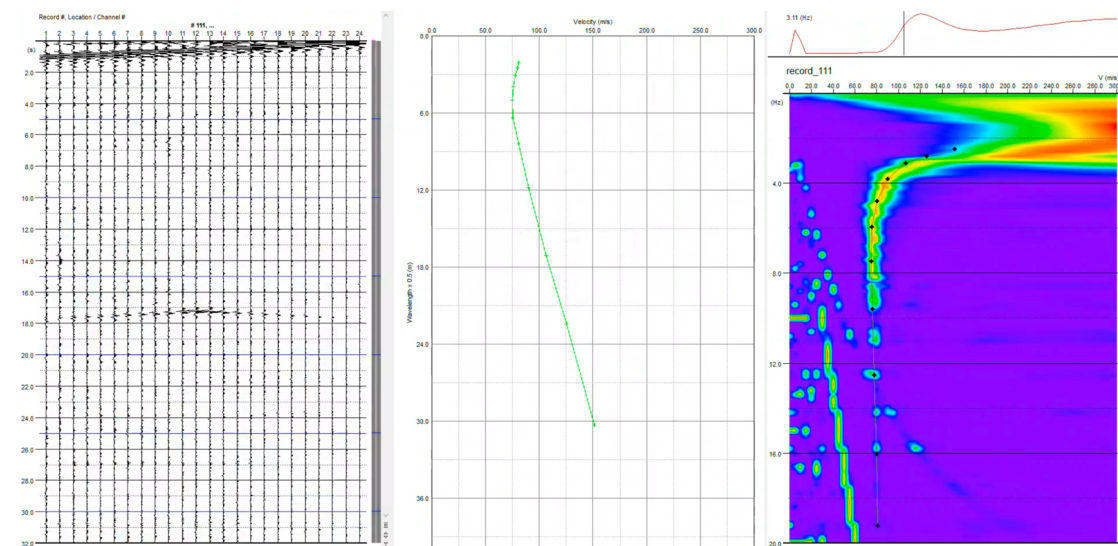


Coordinate UTM (WGS84-32N) profilo Vs: 757020 m E - 4914858 m N

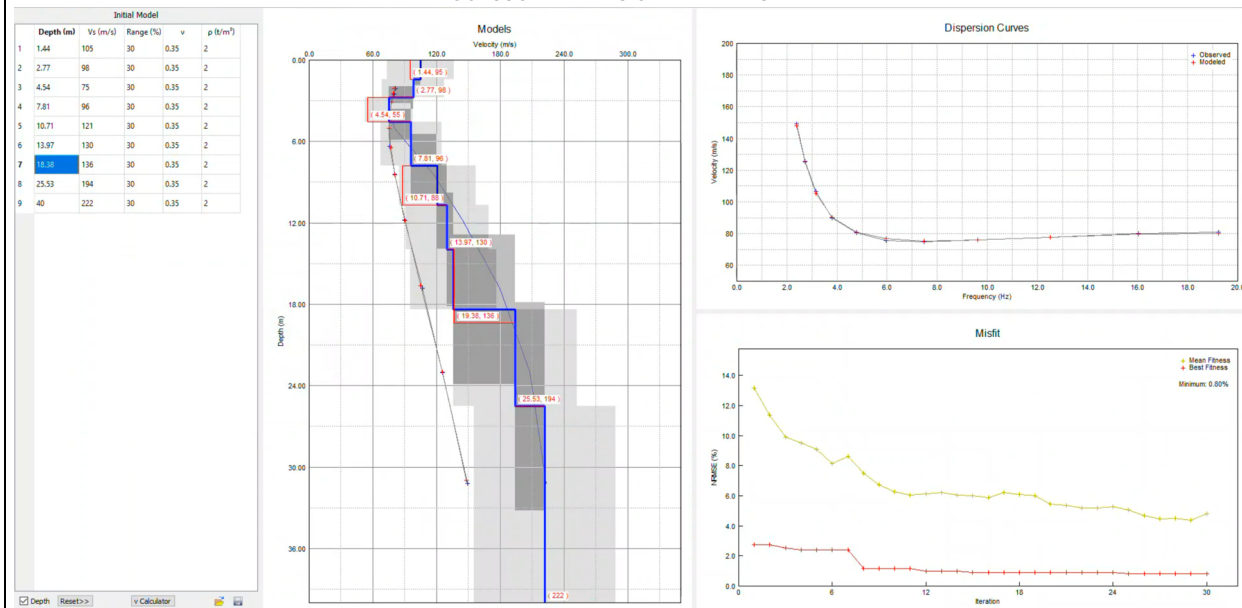
CURVA DI DISPERSIONE F-V E PICKING - MASW

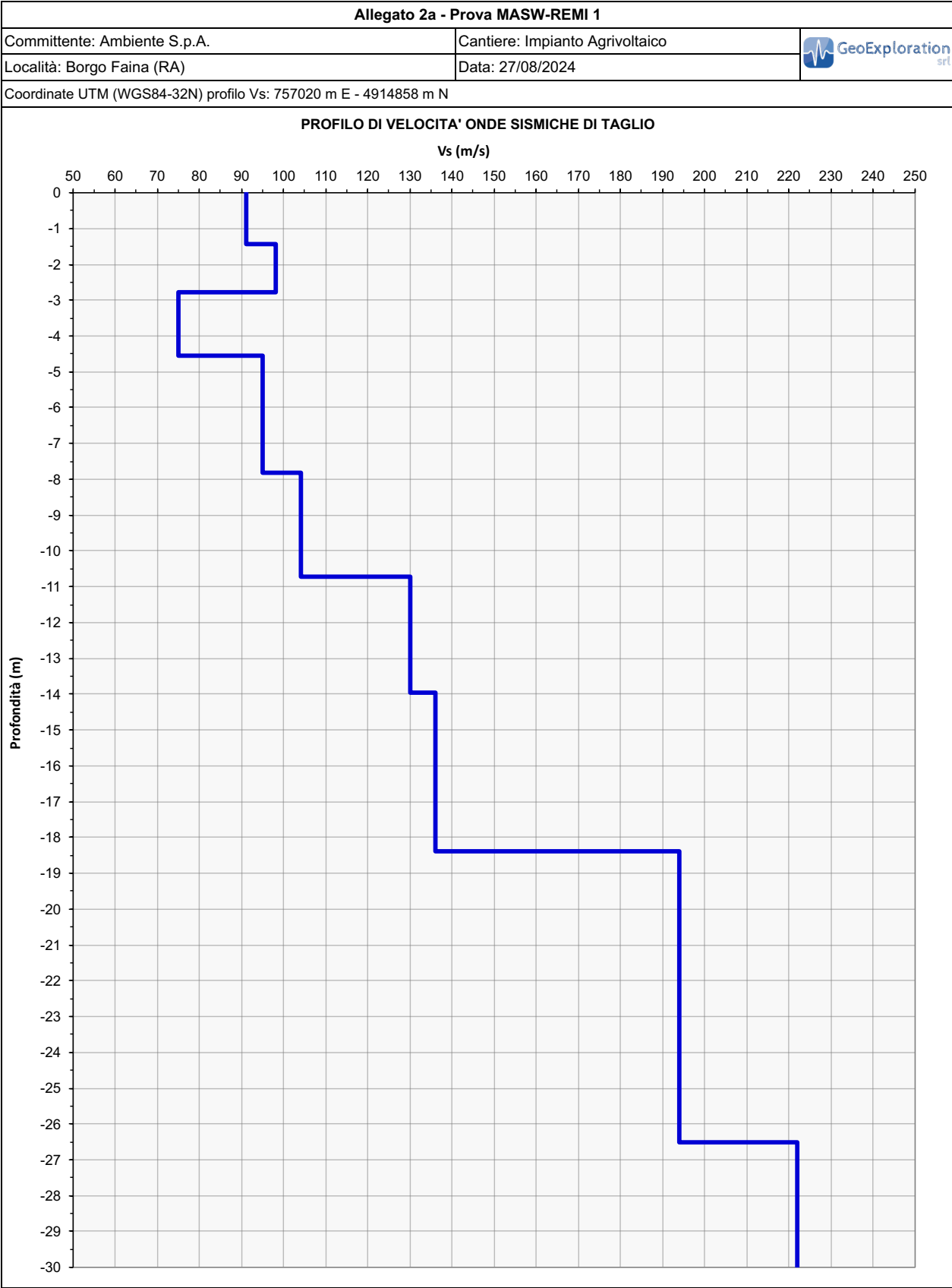


CURVA DI DISPERSIONE E PICKING F-V - REMI



PROCESSO DI INVERSIONE DATI MASW-REMI





Allegato 2b - Prova MASW-REMI 2

Committente: Ambiente S.p.A.

Cantiere: Impianto Agrivoltaico

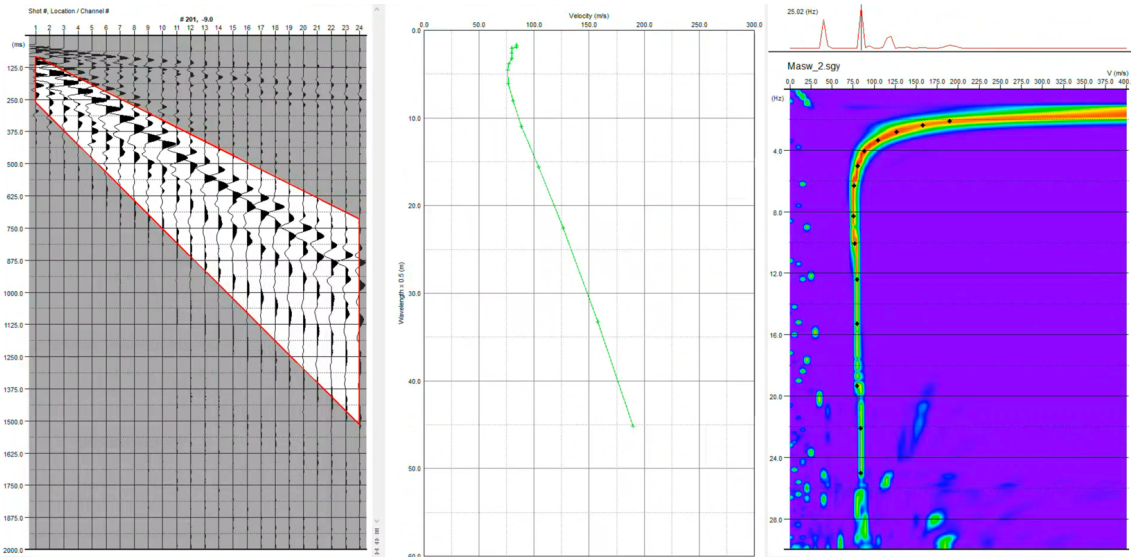
Località: Borgo Faina (RA)

Data: 27/08/2024

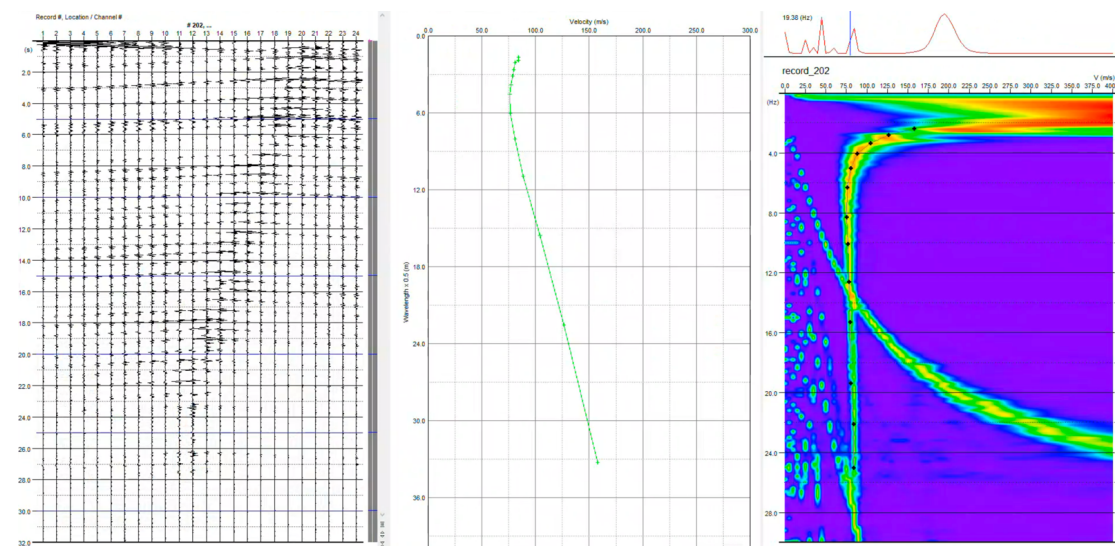


Coordinate UTM (WGS84-32N) profilo Vs: 757020 m E - 4914858 m N

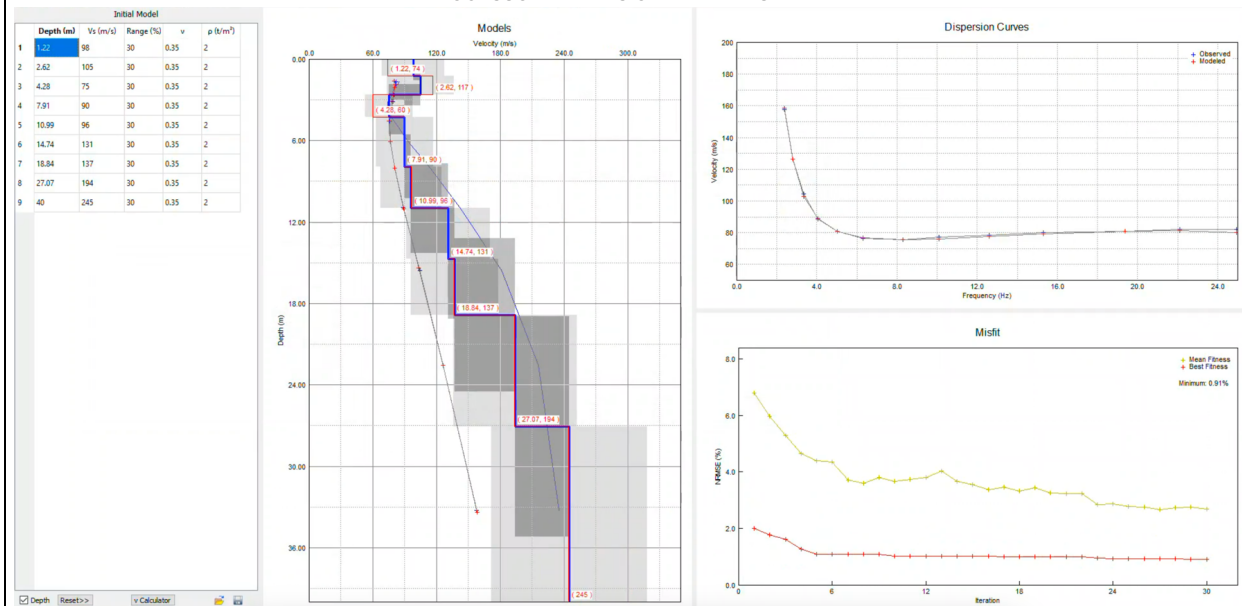
CURVA DI DISPERSIONE F-V E PICKING - MASW

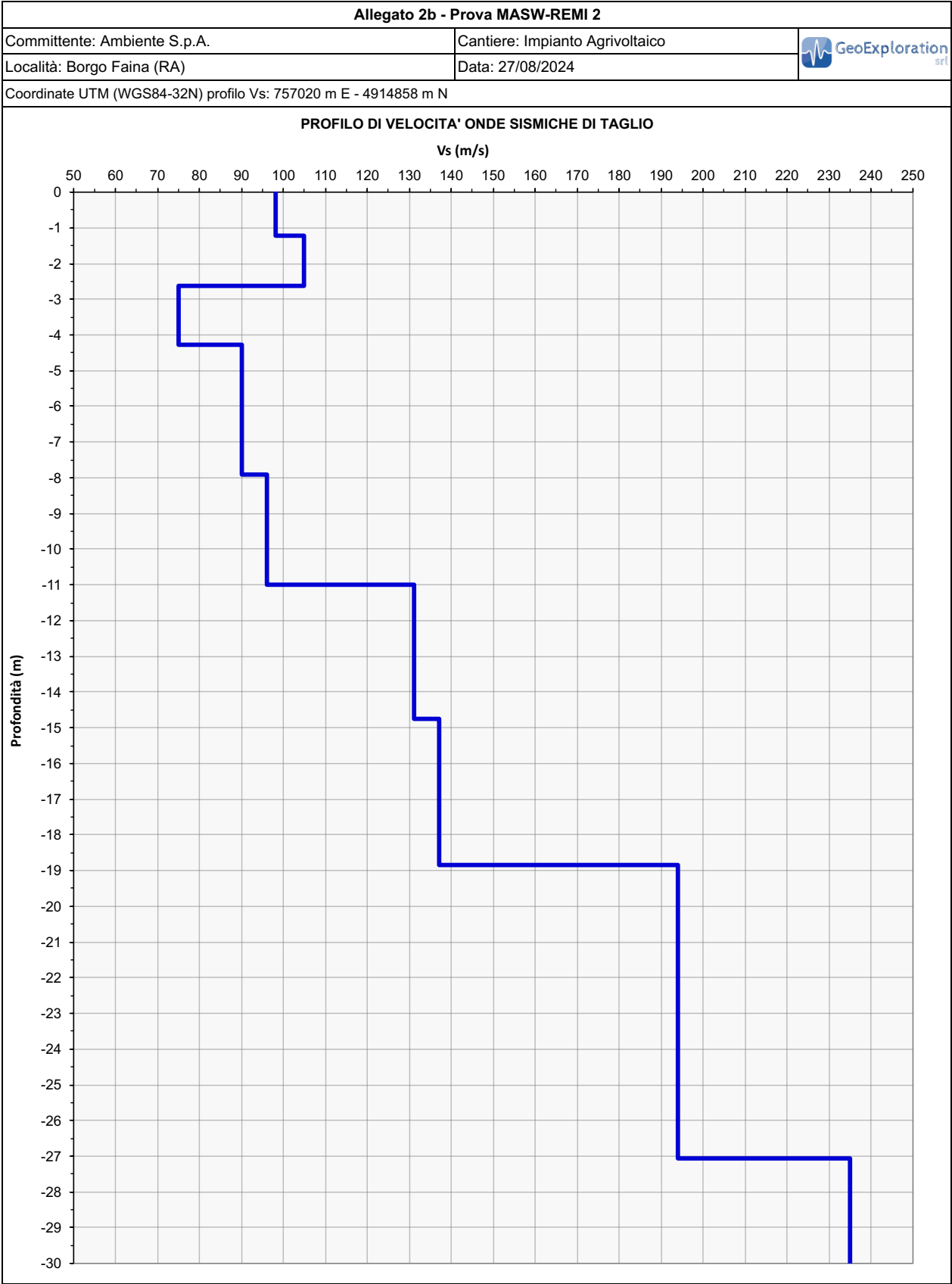


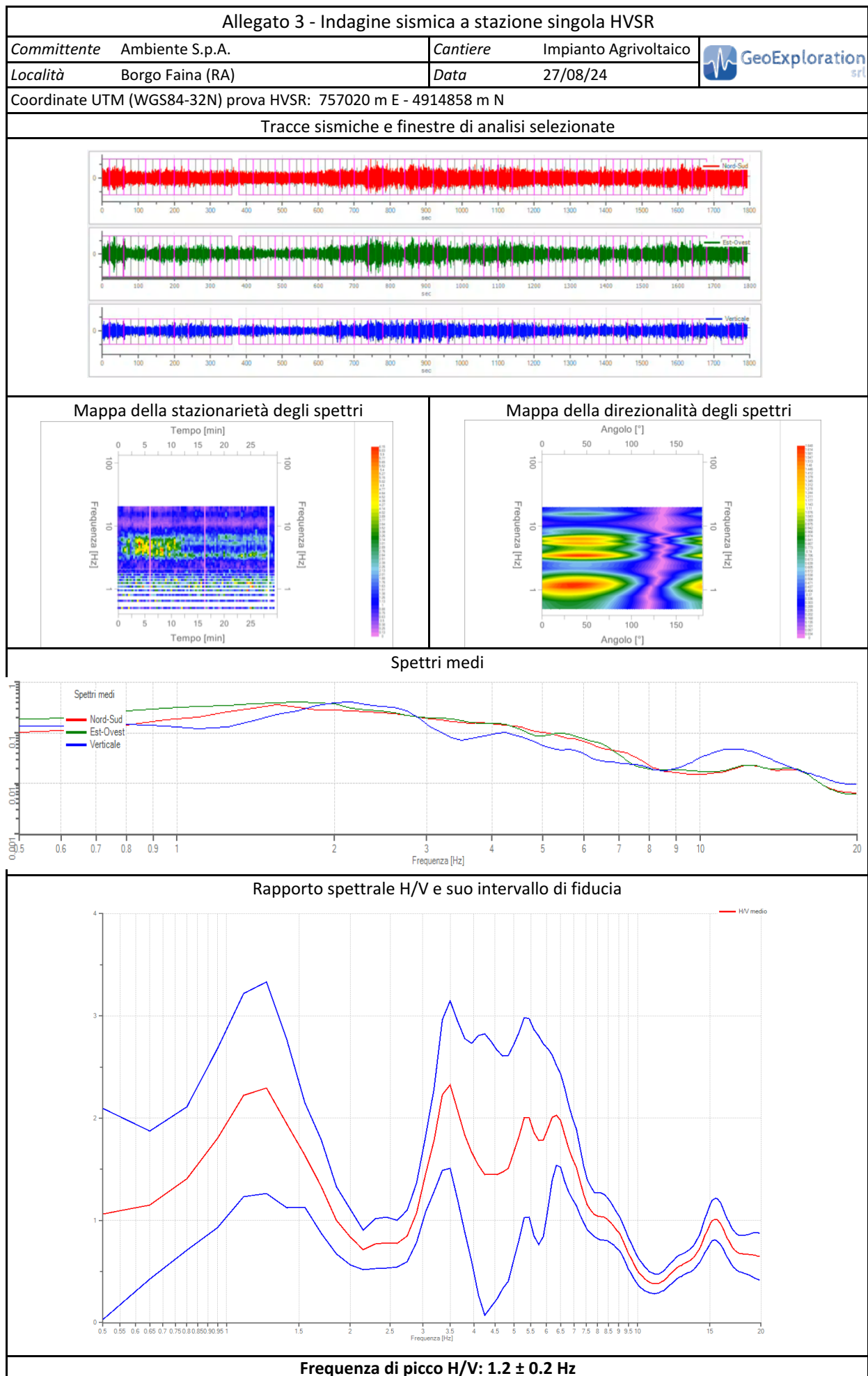
CURVA DI DISPERSIONE E PICKING F-V - REMI




PROCESSO DI INVERSIONE DATI MASW-REMI







Allegato 3 - Indagine sismica a stazione singola HVSR

Committente	Ambiente S.p.A.	Cantiere	Impianto Agrivoltaico	
Località	Borgo Faina (RA)	Data	27/08/24	
Coordinate UTM (WGS84-32N) prova HVSR: 757020 m E - 4914858 m N				

Profilo Vs ricavato da inversione della curva di ellitticità

Per il profilo Vs dettagliato fare riferimento alle prove MASW-REMI

Spettro H/V	
<input checked="" type="checkbox"/> Affidabilità curva H/V - VERIFICATA	
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
Completivo	Ok
<input checked="" type="checkbox"/> Affidabilità picco	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{peak} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	No
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	No
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok
Completivo (5/5):	No



Foto acquisizione HVSR

ALLEGATO 4 – REPORT FOTOGRAFICO INDAGINI GEOFISICHE



Foto 1 – Tomografia LS1 (energizzazione sismica)



Foto 2 – Tomografia LS1 (rilievo GPS)



Foto 3 – Tomografia LS2

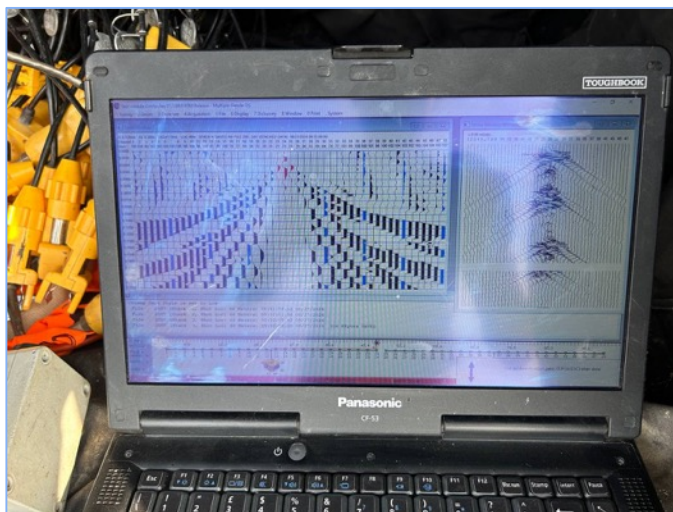


Foto 4 – Tomografia LS2 (esempio record sismico)



Foto 5 – Rilievo MASW1



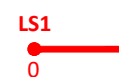
Foto 6 – Rilievo MASW2



Foto 5 – Rilievo HVSR



LEGENDA



Tomografia sismica a rifrazione in onde P e S
e relativa progressiva metrica

MASW1



Stendimento sismica integrata MASW-REM

HVSR



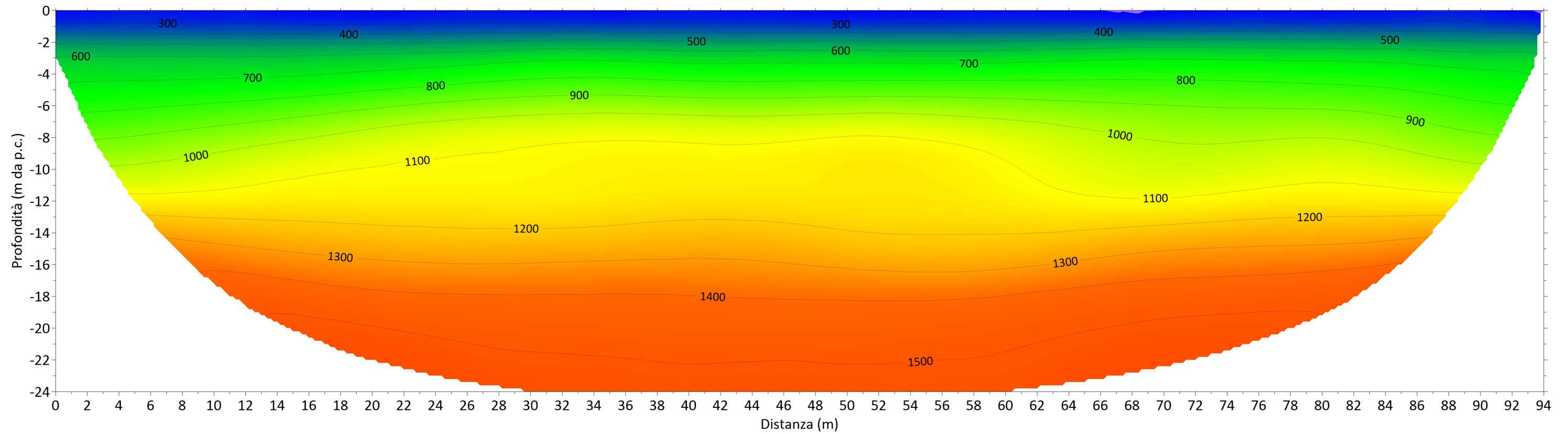
Indagine sismica a stazione singola HVSR



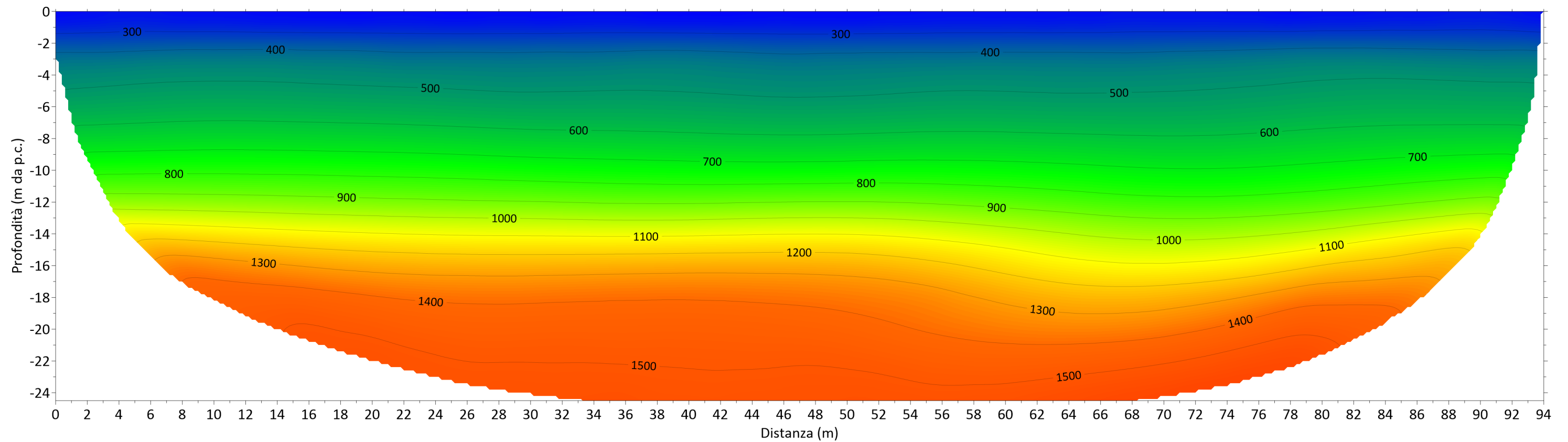
scala 1:4000

TAVOLA 1
Planimetria indagini sismiche

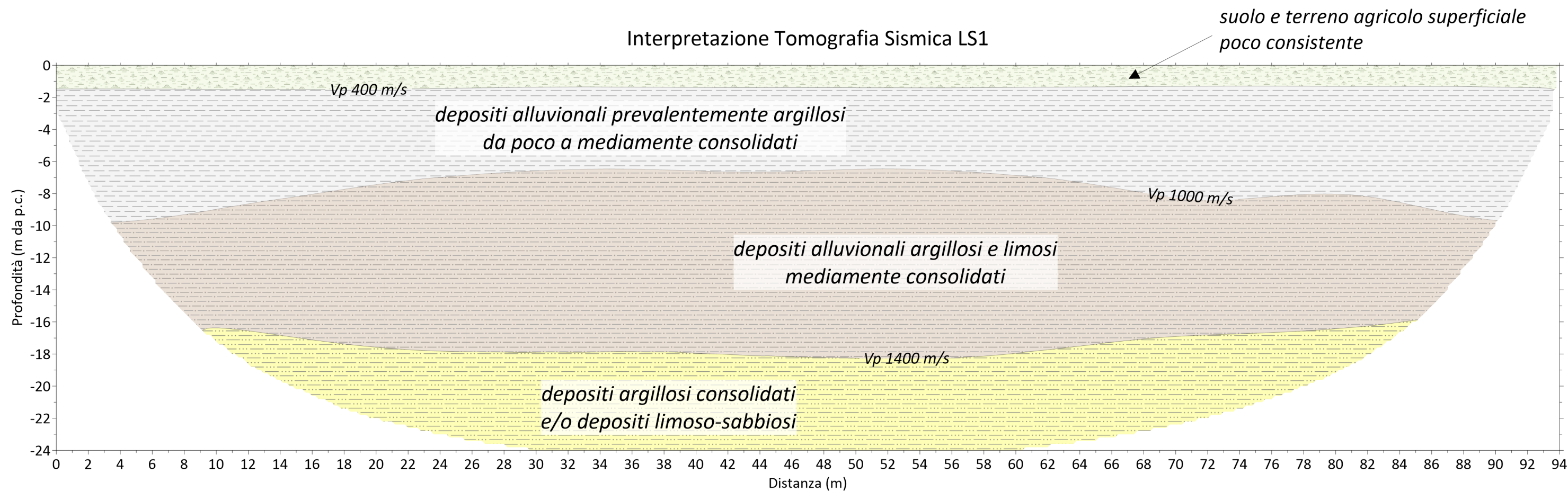
Tomografia Sismica LS1



Tomografia Sismica LS2



Interpretazione Tomografia Sismica LS1



Interpretazione Tomografia Sismica LS2

