

Regione  
**EMILIA  
ROMAGNA**

Provincia di  
**Ravenna**

Progetto per la  
realizzazione di un  
impianto fotovoltaico,  
denominato "**Fossatone**",  
con potenza nominale di  
**64.674,48 kW** da realizzarsi  
nei Comuni di **Massa  
Lombarda, Lugo, Conselice**

Comune di  
**Massa  
Lombarda**

Comune di  
**Lugo**

Comune di  
**Conselice**

**R-r10** REV00

**RELAZIONE GEOLOGICA -  
GEOTECNICA**

**RELAZIONI SPECIALISTICHE**

data Aprile 2026

**RICHIEDENTE**

**STM26 srl**

Via Nenni 6E, Imola (BO)

**COORDINAMENTO**

**STEMM**  
Sviluppo e Progettazione  
www.stemm.solar

Via Nenni 6E, Imola (BO)

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

Progetto agronomico



**UNISG Università degli Studi di scienze  
gastronomiche di Pollenzo (CN)**

Progetto elettrico

**Rodolfo Ciani**

ING. ELETTRICO Via Leonardo da Vinci, 7 - 47122 FORLÌ  
Tel: 349 2669483 - Fax: 0543 404810

Progetto strutturale

**Giovanni Cancian**

ING. CIVILE Via Largo Trieste, 74/d - 30029 S.STINO DI LIVENZA  
Tel: 338 4193110 studiocancian@virgilio.it

Verifica compatibilità idraulica

**Marco Lasen**

ING. CIVILE Via Delle Alte, 60 - 31044 MONTEBELLUNA  
Tel: 3477288783 marco.lasen@gmail.com

Valutazione di Impatto ambientale



**TERRA srl**

Consulenza ambientale-Pianificazione-Ingegneria forestale

Galleria Progresso, 5 San Donà di Piave 30027 - VE  
www.terrasrl.com info@terrasrl.com tel. 0421 332784

Valutazione paesaggistica



**DOTT. AGR. ANNA LETIZIA MONTI**

Agronomo del paesaggio  
Viale Oriani 42/2 - 30020 BOLOGNA  
studio@annaletiziamonti.it

Verifica preventiva interesse archeologico



**DOTT. CHRISTIAN PELACCI**  
Archeologo

Coordinamento progettuale richiesta A.U.



**DANIELE BECCARO**  
Architetto

Corso Milano, 94 - 35139 PADOVA  
arch.danielebeccaro@gmail.com

**PROFESSIONISTI**

**Dott. Geol. Alessandro Vidali**



Proprietà riservata. È vietata la riproduzione totale e parziale e/o la comunicazione a terzi del presente elaborato e calcolo ad esso relativo che non siano espressamente autorizzate. In mancanza di rispetto gli interessati si riservano il diritto di procedere a termini di legge.

R-R10-Rel.Geo.pdf



**DOTT. GEOL. ALESSANDRO VIDALI**  
**INDAGINI GEOLOGICO-GEOTECNICHE E AMBIENTALI**

📍 Via Roma, 20  
30027 San Donà di Piave (VE)  
☎ 0421-51616 ☎ 335-8336809  
FAX 0421-51616 E-mail [ak.vidali@aliceposta.it](mailto:ak.vidali@aliceposta.it)  
PEC [ak.vidali@pec.it](mailto:ak.vidali@pec.it)  
📁 C.F. VDL LSN 59P15 F130X  
📁 P.I. 02793580271

**REGIONE EMILIA ROMAGNA**  
**PROVINCI DI RAVENNA**  
**COMUNE DI MASSALOMBARDA**  
**COMUNE DI LUGO**  
**COMUNE DI CONSELICE**

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA AI SENSI DEL D.M. 17/01/18**  
**CON CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITA' E LIQUEFACIBILITA' DEI**  
**TERRENI PER IL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO**  
**FOTOVOLTAICO DENOMINATO "FOSSATONE" CON POTENZA**  
**NOMINALE DI 64.674,48 kW**

**COMMITTENTE:**  
**DITTA STM26 S.R.L.**  
**Via Nenni 6E - 40026 IMOLA - BO**

## **\* PREMESSA \***

La presente relazione geologica e geotecnica con considerazioni sulla sismicità e liquefacibilità dei terreni è stata commissionata allo Studio del Dott. Geol. Alessandro Vidali, Via Roma n° 20, 30027 San Donà di Piave (VE) dalla **DITTA STM26 S.R.L.** Via Nenni 6E, 40026 Imola (BO), inerente *il progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico denominato “ Fossatone” nei Comuni di Massalombarda, Lugo e Conselice - RA.*

Le indagini geologiche inerenti i terreni di fondazione sono previste dalle normative vigenti, Decreto Ministeriale 11/03/1988 **“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, ...”** (in G.U. n° 127 dell’01/06/1988), dal D. M. 14/01/2008 **“Norme tecniche per le costruzioni”** (in G.U. n° 29 del 04/02/2008 Suppl. Ord. n° 30) e dal D.M. 17/01/2018 **“Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”** (in G.U. n° 8 del 20/02/2018).

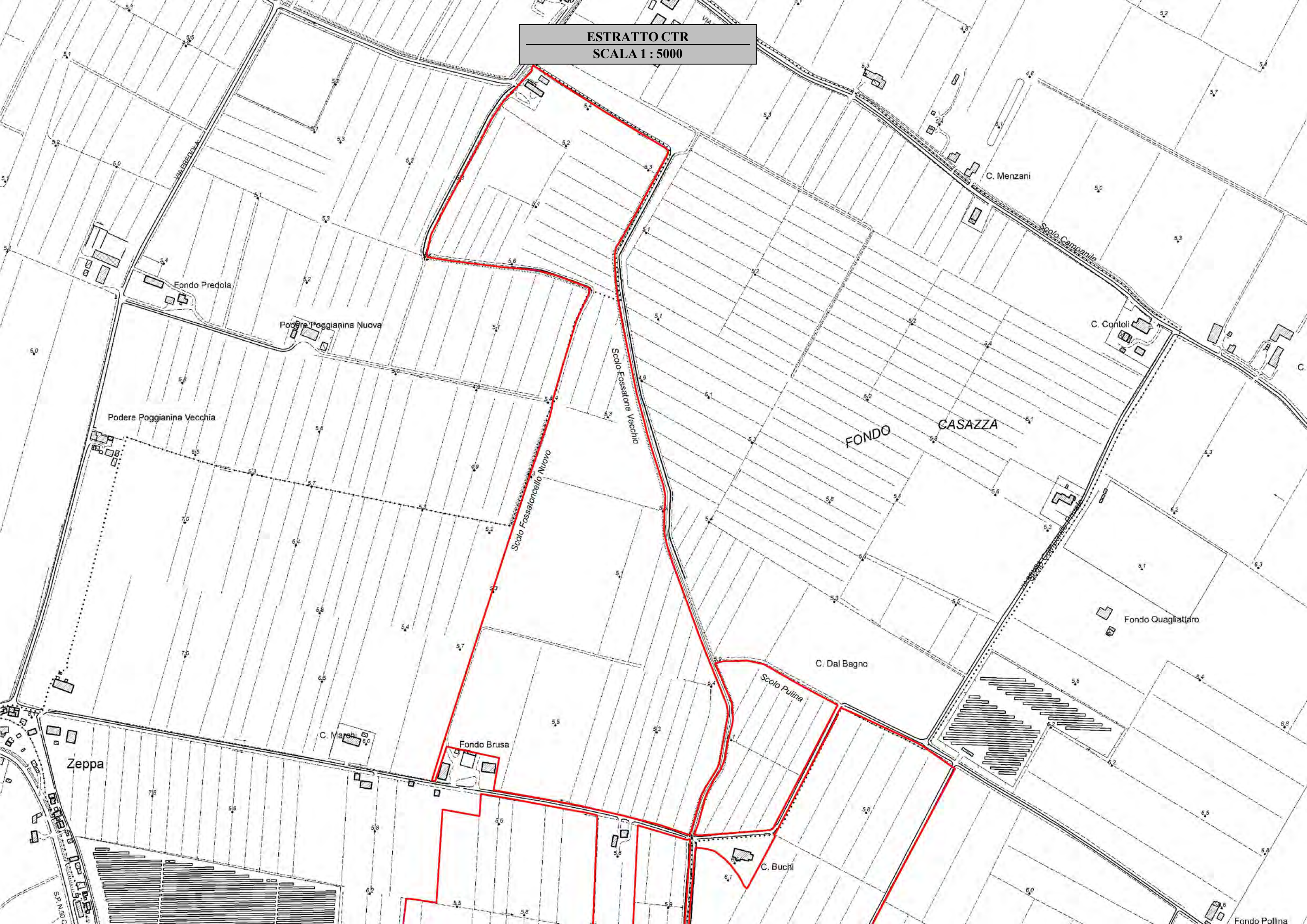
Il fine del presente lavoro è quello di dare indicazioni sulla stratigrafia dei terreni, sulla pressione ammissibile ed i conseguenti cedimenti, sulla profondità dell'acqua di falda e sui parametri geotecnici.

Per la ricostruzione delle caratteristiche geologico-geotecniche del sottosuolo, si farà ricorso alla letteratura tecnica ed indagini esistenti svolte in aree contermini, prima di eseguire eventuali indagini geognostiche in loco.

Alle pagine successive si riportano gli estratti della CTR al 5000.



ESTRATTO CTR  
SCALA 1 : 5000





ESTRATTO CTR  
SCALA 1 : 5000





### **\* CENNI SULLE CONDIZIONI GEOLOGICHE LOCALI \***

L'assetto geologico complessivo dell'area in esame è legato all'evoluzione del grande bacino subsidente padano di riempimento detritico ed all'evoluzione tettonica compressiva e convergente fra il dominio Sud-alpino ed il dominio appenninico.

Ciò ha comportato la formazione di un complesso sistema di pieghe e faglie, orientate da NNO a SSE, ovvero da ONO a ESE o ancora Nord-Sud. Per la bassa Provincia di Ravenna, nonché ovviamente per l'area in esame la situazione può essere descritta in maniera molto sintetica con la presenza di un potente materasso di deposizioni alluvionali costituiti da alternanze di terreni sabbiosi e argilloso limosi passanti in profondità talora a ghiaie ascrivibili dal Pleistocene superiore (wurmiano) al Post Glaciale (15000 anni fa – attuale) sovrastanti le strutture appenniniche sepolte, d'età Miocenica (2,4 - 5,4 Milioni di Anni fa), quali sovrascorrimenti e/o fronti dai accavallamento (sia della successione carbonatica Meso-Cenozoica che del Triassico Inferiore (Accavallamento profondo d'età Post-Pleistocene Medio).

Nelle vicinanze dell'area di studio si rilevano sovrascorrimenti attivi nel basamento e nella successione carbonatica e strutture neogeniche senza evidenza di attività recente. Sulla base delle apposite cartografie di riferimento locale e regionale, è possibile ascrivere i terreni di fondazione, caratterizzanti l'area in esame, ai depositi di origine alluvionale.

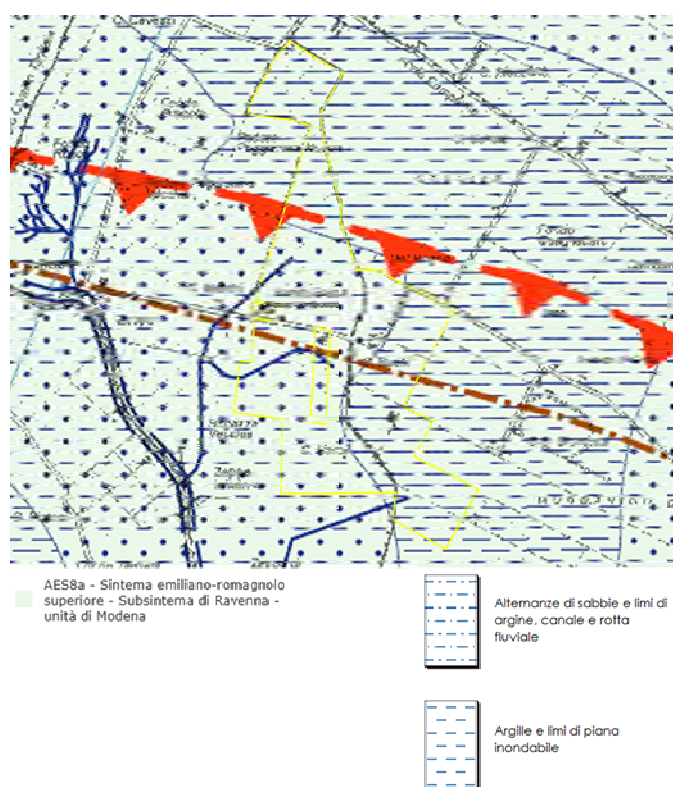


Figura 56 Carta geologica Emilia Romagna; Fonte: Geoportale Regione Emilia Romagna, elaborazione TERRA.

Dalla figura sopra si riscontra che l'area di progetto (perimetrata in giallo) ricade nell'unità geologica "AES8a", ovvero l'unità di Modena, in particolare trattasi del Sintema emiliano- romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna.

La AES8a è un'unità costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose o da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva. Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigio-giallastro.

Il sito oggetto di indagine ricade in un ambiente di piana alluvionale, che nello specifico presenta litotipi argillo-limosi, relativi a depositi di piana inondabile in area interfluviale e litotipi sabbio-limosi di deposito di canale, argine e rotta fluviale.

### Inquadramento litologico

Nella figura seguente viene riportata un'elaborazione della Tavola 31 – Litologia di superficie allegata al PSC dell'Unione dei Comuni della Bassa Romagna, con indicata da un tratteggio rosso l'area di progetto.

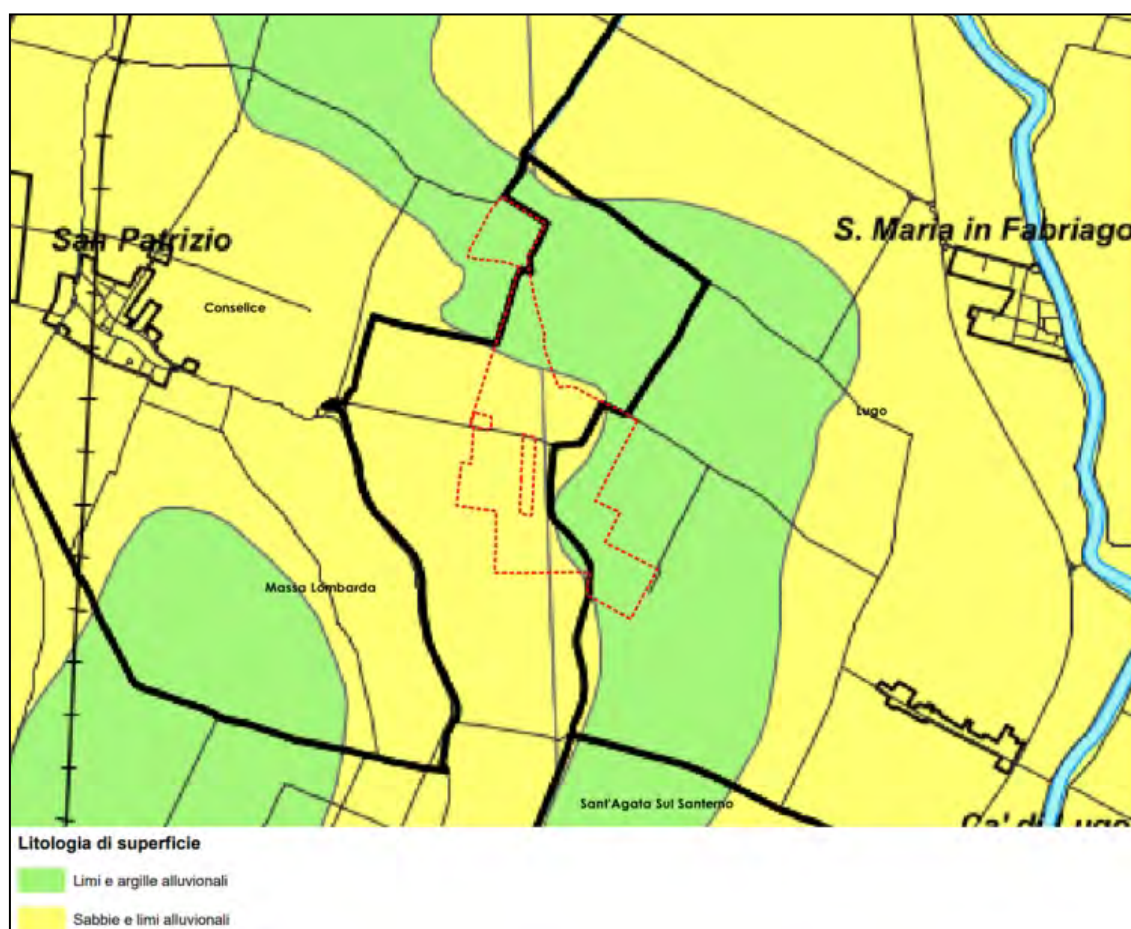


Figura 57 Litologia dell'area di progetto (Fonte: PSC dell'Unione dei Comuni della Bassa Romagna; Elaborazione TERRA SRL).

L'esame della figura sopra permette di confermare quanto già riscontrato in Figura 56, ovvero che la zona risulta classificata da un punto di vista litologico sia come "limi e argille alluvionali" (porzione più a nord e più ad est dell'area in esame) sia come "sabbie e limi alluvionali" (porzione centro occidentale del sito in esame). In merito, si riportano di seguito i dettagli specifici:

**Argille e limi di piana inondabile:** Argille e limi in strati medi e spessi con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose in strati da molto sottili a medi. Presenti anche livelli di argille organiche. Spesso le argille ed i limi sono bioturbati e non sono visibili la stratificazione e le strutture sedimentarie; altrove è presente una fitta laminazione piano-parallela. Depositi di piana inondabile. Formano corpi di geometria allungata nelle aree depresse interposte ai depositi di argine o di geometria complessa dove queste si saldano fra loro (zone "vallive"); hanno spessori di pochi metri.

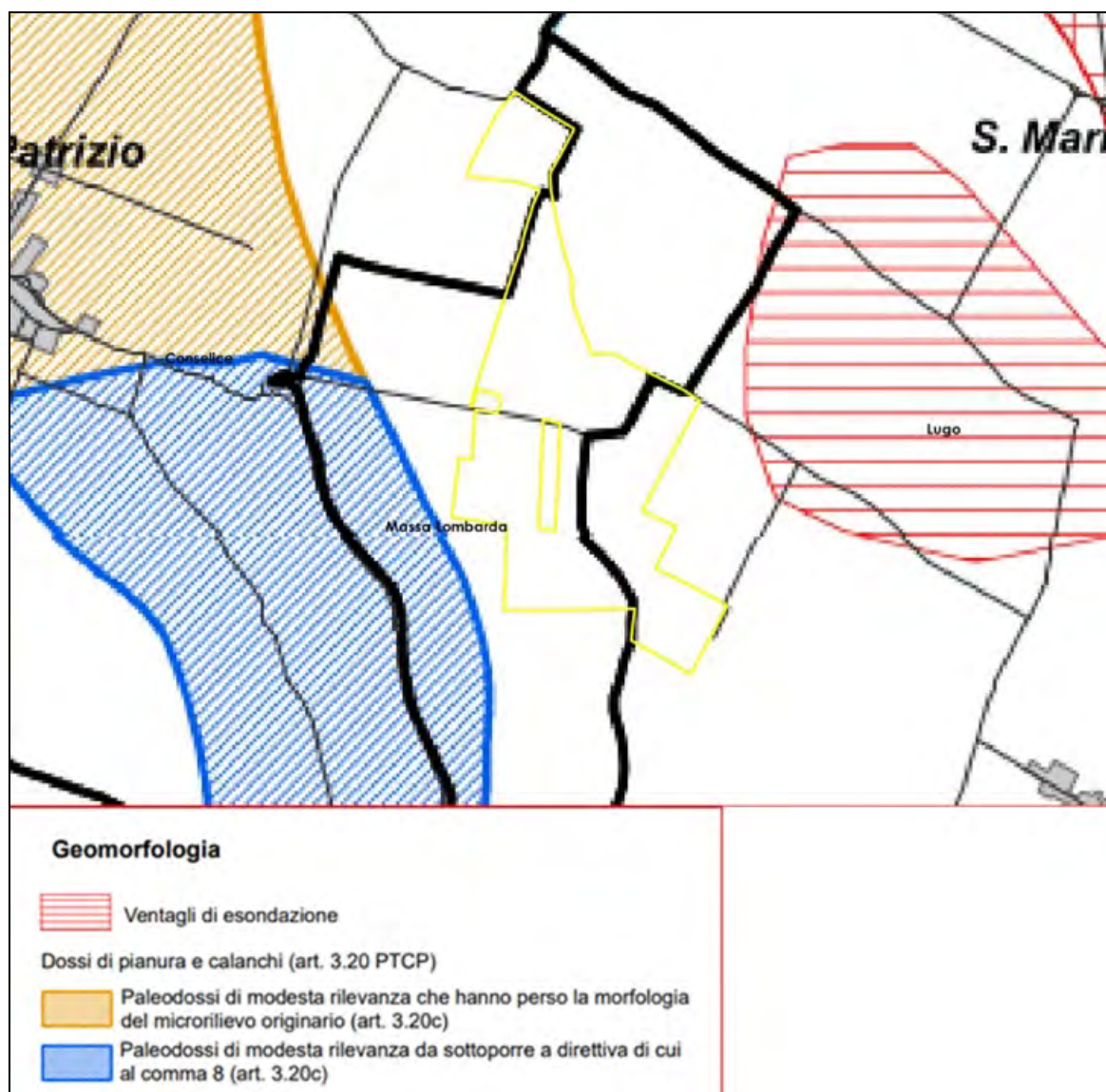
**Alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale:** Alternanze di sabbie fini e finissime, spesso limose, in strati da sottili a spessi, e limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in strati da molto sottili a medi. Gli strati sono organizzati in sequenze con gradazione positiva o negativa. Localmente sono presenti sabbie medio-grossolane alla base delle sequenze positive ed intercalazioni di argilla al tetto. Depositi di argine, canale e rotta fluviale. Formano corpi rilevati (dossi) a geometria nastriforme e corpi isolati o coalescenti, con spessore di qualche metro. I canali fluviali che li hanno generati hanno subito, in epoca recente, profonde modificazioni del percorso con opere di rettificazione, arginatura e canalizzazione.

#### **Inquadramento geomorfologico**

La caratterizzazione geomorfologica dell'ambito in cui ricade il sito di progetto è strettamente connessa al modello genetico di formazione del territorio. In pianura gli effetti morfologici 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.

Si riporta di seguito la tavola 29 – Geomorfologia del PSC dell'Unione dei Comuni della Bassa Romagna. L'area di interesse è perimetrata in giallo.





Come si può osservare dalla figura sopra, l'area in esame ricade esternamente sia ai ventagli di esondazione che ai paleodossi di modesta rilevanza.

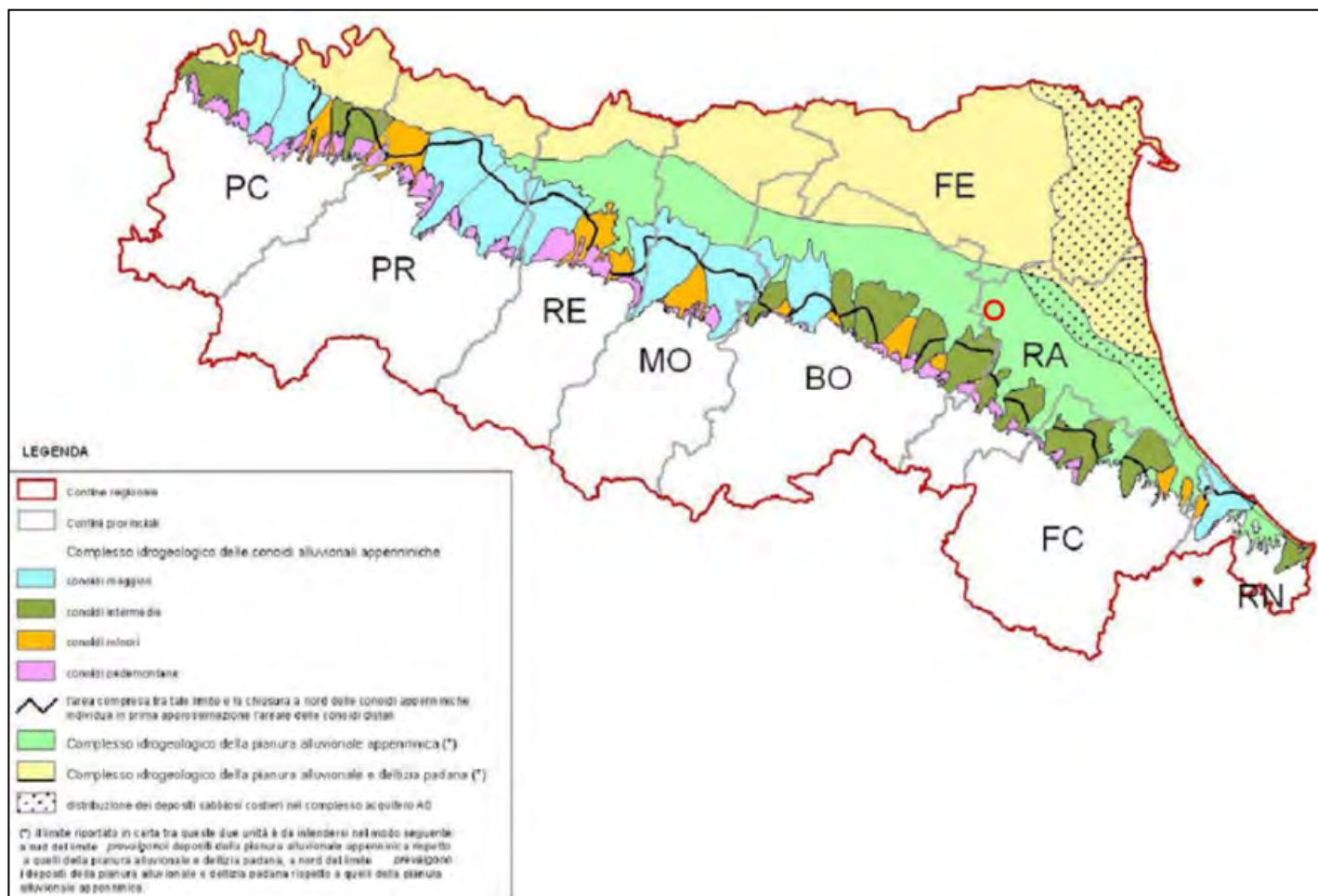
### Inquadramento idrogeologico

Nella Figura 58 è riportato lo schema stratigrafico e idrostratigrafico del margine Appenninico e della pianura Emiliano-Romagnola, che prevede la suddivisione verticale delle unità litostratigrafiche sepolte in tre unità idrogeologiche principali denominate:

- gruppo acquifero A;
- gruppo acquifero B;
- gruppo acquifero C.

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE										ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE		
AFFIORANTI					SEPOLTE							GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	
QUATERNARIO CONTINENTALE	DILUVIUM p.p.	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	FORMAZIONE DI CASTELLO	UNITA' DI VILLA DEL BOSCO	UNITA' DI CA' DI SOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO		UNITA' DI BORGO PANIGALE	ORIZZONTE DI FORSOLO	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	0.125	A	A <sub>1</sub>
						SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE							A <sub>2</sub>
														A <sub>3</sub>
														A <sub>4</sub>
QUATERNARIO MARINO	MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.					SUPERSISTEMA QUATERNARIO MARINO		UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE	-0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	-0.65	B	B <sub>1</sub>	
	MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.					SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3'							B <sub>2</sub>	
	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.					SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2							B <sub>3</sub>	
	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELLARQUATO p.p.					SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1							B <sub>4</sub>	
P <sub>2</sub>	FORMAZIONE di CASTELLARQUATO p.p.					SUPERSISTEMA DEL PLOCCENE MEDIO-SUPERIORE			PLOCCENE MEDIO SUPERIORE	-2.2	PLOCCENE MEDIO - SUPERIORE		C	C <sub>1</sub>
									PLOCCENE MEDIO SUPERIORE	-1.0			C <sub>2</sub>	
									PLOCCENE MEDIO SUPERIORE	-0.8	0.89		C <sub>3</sub>	
									PLOCCENE MEDIO SUPERIORE	-3.3-3.6	3.55		C <sub>4</sub>	
									PLOCCENE MEDIO SUPERIORE	-3.9	PLOCCENE INFERIORE MIocene		C <sub>5</sub>	
ACQUITARDIO BASALE														





Come si può osservare dall'immagine sopra, l'area di interesse (cerchio rosso) ricade nel complesso idrogeologico della pianura alluvionale appenninica.

La struttura geologica della pianura alluvionale appenninica è caratterizzata dall'assenza di ghiaie e dominanza di depositi fini. Questo complesso si estende, indifferenziato al suo interno, a partire dalla pianura reggiana fino al limite orientale interponendosi tra i depositi grossolani delle conoidi appenniniche a sud ed i depositi padani a nord.

All'interno di questa unità sono riconoscibili alternanze cicliche ripetute più volte sulla verticale, generalmente organizzate al loro interno nel modo seguente:

- porzione inferiore: è costituita da limi argillosi di spessore decametrico e continui lateralmente per diversi chilometri;
- porzione intermedia: è costituita da depositi fini dominati da limi alternati a sabbie e/o argille in cui sono frequentemente presenti livelli argillosi;
- porzione superiore: è costituita da sabbie medie e grossolane, di spessore di alcuni metri, la loro continuità laterale è dell'ordine di qualche chilometro. Qui si concentra la

maggior parte delle sabbie presenti in questi settori di pianura, che costituendone pertanto gli unici acquiferi sfruttabili.

Il complesso idrogeologico della piana alluvionale appenninica si configura come un contenitore assai scadente in termini quantitativi. All'interno dei pochi corpi grossolani presenti la circolazione idrica è decisamente ridotta ed avviene in modo prevalentemente compartimentato. Non sono presenti fenomeni di ricarica né scambi tra le diverse falde o tra fiume e falda.

Le acque presenti sono acque connate il cui ricambio è reso problematico dalla bassa permeabilità complessiva e dalla notevole distanza dalle aree di ricarica localizzate nel margine appenninico. Le falde sono tutte in condizioni confinate, in alcuni casi sono documentate falde salienti con livelli piezometrici superiori al piano campagna. Le piezometrie tra le diverse falde possono variare anche di alcuni metri, ciò tuttavia non induce fenomeni di drenanza tra le diverse falde, data la preponderante presenza di depositi fini.

Dato che i depositi fluviali grossolani tendono a chiudersi passando sia lateralmente che sottocorrente a sedimenti più fini, poco permeabili, la velocità dei flussi nelle zone più distali può essere anche irrisoria, specie se in assenza di prelievi. Pertanto i gradienti idraulici sono pari a 1-3 ‰.

Alla pagina successiva si riportano un estratto della Carta Geologica al 100000 Fg. 88 "Imola" e un estratto della Carta Geologica al 50000 Fg. 222 "Lugo".

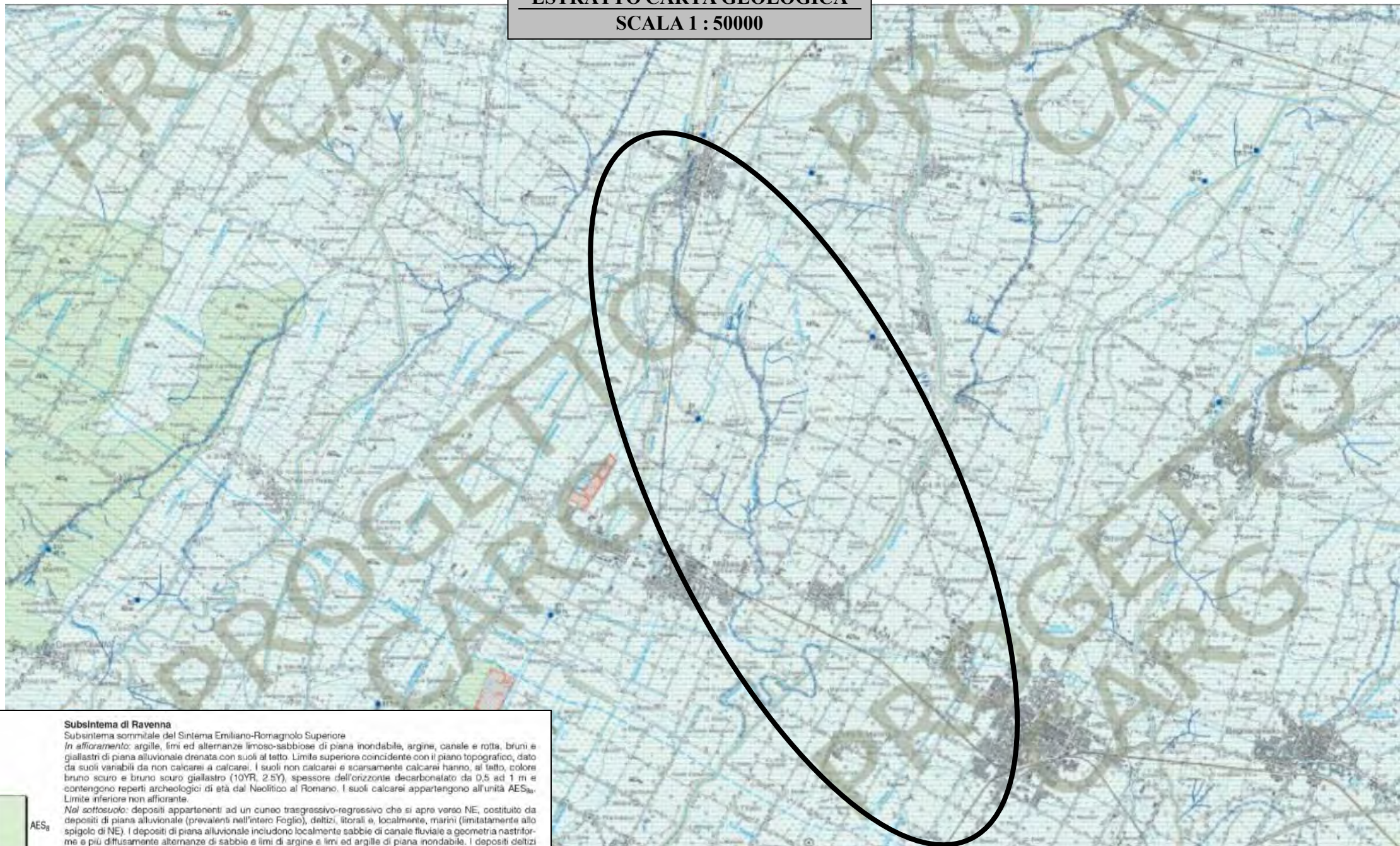






## ESTRATTO CARTA GEOLOGICA

SCALA 1 : 50000



### Subsistema di Ravenna

Subsistema sommitale del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore

*In affioramento:* argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di piana inondabile, argine, canale e rotti, bruni e giallastri di piana alluvionale drenata con suoli al tetto. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro (10YR, 2.5Y), spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,5 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES<sub>3a</sub>. Limite inferiore non affiorante.

*Nel sottosuolo:* depositi appartenenti ad un cuneo trasgressivo-regressivo che si apre verso NE, costituito da depositi di piana alluvionale (prevalenti nell'intero Foglio), deltizi, litorali e, localmente, marini (limitatamente allo spigolo di NE). I depositi di piana alluvionale includono localmente sabbie di canale fluviale a geometria nastriforme e più diffusamente alternanze di sabbie e limi di argine e limi ed argille di piana inondabile. I depositi deltizi e litorali includono un esteso cuneo di argille limose organiche palustri-lagunari passanti verso E e NE a sabbie di cordone e fronte deltizia.

Limite inferiore sepolto dato dal contatto netto tra i depositi fini, scuri, di piana non drenata, palude, laguna e barriera trasgressiva, alla base dell'unità, con i depositi grossolani di canale e argine fluviale al tetto di AES<sub>3</sub>. Subsistema contenente un'unità di rango gerarchico inferiore (AES<sub>3a</sub>) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico.

Spessore massimo di 25 metri circa.

PLEISTOCENE SUP-OLOCENE (c.a. 14.000 anni BP - attuale; datazione <sup>14</sup>C non cal. e biostratigrafica).

- Via Roma, N° 19 - 30027 San Donà di Piave (VE) - Tel. 0421-51616



## **\*STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE\***

Sulla scorta dei dati esistenti (CPTU eseguita da altro Professionista in zona prossima all'area di intervento) il sottosuolo dell'area in esame e le principali caratteristiche geotecniche si possono così riassumere:

- dal p.c. a m 0.40 ca. **terreno arativo**;
- da m 0.40 a m 1.70 ca. **sabbia limosa** con valori rappresentativi di resistenza alla punta  $R_p = 45 \text{ kg/cm}^2$  e angolo  $\Phi' = 29^\circ$ ;
- da m 1.70 a m 3.20 **limo argilloso** con valori rappresentativi di resistenza alla punta  $R_p = 19 \text{ kg/cm}^2$  e resistenza al taglio  $C_u = 0.95 \text{ kg/cm}^2$ , passante nella CPT
- da m 3.20 a m 12.90 **argilla limosa** con valori rappresentativi di resistenza alla punta  $R_p = 10 \text{ kg/cm}^2$  e resistenza al taglio  $C_u = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ ;
- da m 12.90 a m 14.00 **limo argilloso** con valori rappresentativi di resistenza alla punta  $R_p = 16 \div 24 \text{ kg/cm}^2$  e resistenza al taglio  $C_u = 0.8 \div 1.2 \text{ kg/cm}^2$ ;
- da m 14.00 a m 15.80 ca. **sabbia limosa** con valori rappresentativi di resistenza alla punta  $R_p = 38 \text{ kg/cm}^2$  e angolo  $\Phi' = 28^\circ$ ;
- da m 15.80 a m 19.80 **limo argilloso** con valori rappresentativi di resistenza alla punta  $R_p = 15 \div 30 \text{ kg/cm}^2$  e resistenza al taglio  $C_u = 0.75 \div 1.5 \text{ kg/cm}^2$ ;
- da m 19.80 a m 21.30 ca. **sabbia** con valori rappresentativi di resistenza alla punta  $R_p = 65 \text{ kg/cm}^2$  e angolo  $\Phi' = 32^\circ$ .

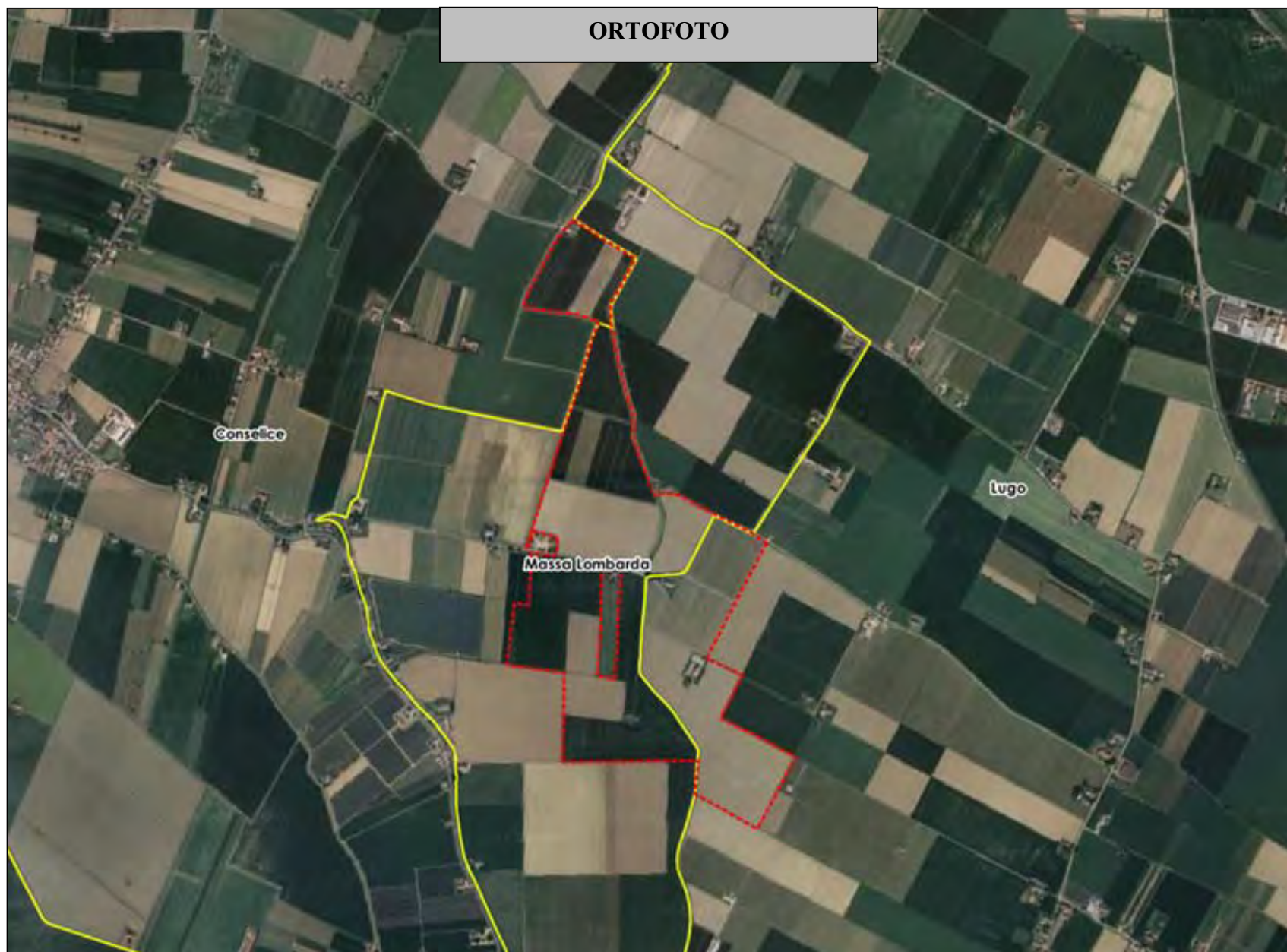
*Le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione sono da considerarsi nel complesso **discrete**.*

## **\*FREATIMETRIA\***

La **prima falda**, rilevata in due pozzi freatici il giorno del rilevamento (33/05/2025), si trovava ad una profondità di **-1.10 m** in Via Casazze e ad una profondità di **-1.20 m** dal **p.c.** in Via Predola.

Il deflusso delle acque meteoriche avviene per scolo meccanico.

Alla pagina successiva si riporta una ortofoto dell'area di intervento.





## **\* CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE \***

### **CAPACITA' PORTANTE**

#### **VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)**

La verifica allo stato limite ultimo (S.L.U.) richiesta dal D.M. 17.01.18 prevede che il valore di progetto delle azioni ( $E_d$ ) sia inferiore o uguale alle resistenze di progetto ( $R_d$ )

$$E_d \leq R_d$$

Per il calcolo della capacità portante ultima ( $Q_{ult}$ ) utilizzando l'*approccio 2* previsto dalla nuova normativa si ha:

APPROCCIO 2 (A1-M1-R3)

Dove:

Azioni: amplificate secondo Tab. 6.2.I (A1)

$$G_{x1,3} + Q_{x1,5}$$

Parametri: secondo Tab. 6.2.II (M1)

$$\gamma_{\Phi} = 1,0 \quad \gamma_{\gamma} = 1,0$$

Resistenze: secondo Tab. 6.4.I (R3 - capacità portante)

$$\gamma_r = 2.3$$

per cui

$$G_{x1,3} + Q_{x1,5} \leq R/\gamma_r$$

dove  $R = Q_{ult}$

La capacità portante viene calcolata con la formula del Terzaghi che nella sua estensione generale è:

$$R = Q_{ult} = (1 + 0.2B/L)C \quad N_c + \gamma D N_q + (1 - 0.2B/L)\gamma B/2 N_{\gamma}$$

dove:

$q_{ult}$  = capacità portante unitaria

B = larghezza della fondazione

L = lunghezza della fondazione

D = profondità di imposta della fondazione

$\gamma$  = peso di volume del terreno

$C_u$  = coesione non drenata

$N_c$ ;  $N_q$ ;  $N_\gamma$  = fattori di capacità portante

che per terreni granulari, con fondazioni di tipo nastriforme si riduce a:

$$Q_{ult} = \gamma D N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma$$

Il terreno di appoggio della fondazione sarà costituito da sabbia moderatamente addensata qualora la fondazione sia posta a -0.60 m di prof. dal p.c.

Si assumono i seguenti parametri geotecnici:

**angolo di attrito:**  $\phi' = 29^\circ$  (prudenziale)

**peso di volume secco:**  $\gamma_d = 1.8 \text{ t/m}^3$

**fattore di capacità portante  $N_q$**  = 16.45

**fattore di capacità portante  $N_\gamma$**  = 23.72

**larghezza fondazione  $B$**  = 1 m

per cui si ottiene

$$R/\gamma_r = R_d = 1.70 \text{ kg/cm}^2.$$

#### STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Constatato che si tratta di depositi alluvionali dalle discrete caratteristiche geotecniche, nell'ipotesi di fondazioni di tipo continuo di dimensioni usuali ( $B = 1 \text{ m}$ ) con piano di posa individuabile a -0.60 m dal p.c. possono essere assunti valori (prudenziali) di capacità portante (incremento netto di pressione) pari a

$$\Delta Q = 0.8 \text{ kg/cm}^2$$

I valori dei cedimenti attesi in relazione al tipo di fondazione, sono da ritenersi rientranti nei limiti.

Si ricorda di verificare nel corso dello scavo di sbancamento la stratigrafia ricavata in base ai dati penetrometrici.

Infine si rammenta che le valutazioni sopra riportate sono a titolo indicativo, spetterà comunque all'Ingegnere progettista strutturale stabilire quale sarà la soluzione fondazionale più idonea.

In fase esecutiva sarebbe consigliabile l'esecuzione di almeno 2 CPT di verifica in corrispondenza dell'area di sedime dove sorgeranno le cabine elettriche.

#### COEFFICIENTE DI WINKLER

In base alla successione dei terreni di fondazione, alle loro caratteristiche geotecniche e alle caratteristiche delle fondazioni ipotizzate si suggerisce di adottare un



valore del coefficiente di Winkler secondo il seguente intervallo di valori:  $K_w = 1.5 \div 2.5 \text{ kg/cm}^3$

#### SISMICITA' DELL'AREA

Il territorio dei Comuni di Massa Lombarda, Conselice e Lugo nei suoi confini geografici, sono classificati *zona sismica di seconda categoria* secondo il D.M. 14/05/82, con grado di sismicità  **$S = 9$** , ai sensi della Legge 02/02/1974 n° 64 ***“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”***.

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” (G.U. n. 105 del 08/05/2003 Suppl. Ordinario n. 72), riclassifica ed aggiorna le aree sismiche suddividendole in quattro “zone”.

I Comuni di Massa Lombarda, Conselice e Lugo erano classificato come **“ZONA II”**.

In seguito all'entrata in vigore delle nuove “Norme Tecniche per le Costruzioni” (D.M. 14/01/2008 pubblicato in G.U. n° 29 del 04/02/2008 ed entrato in vigore il 01/07/2009) e dell’”Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (D.M. 17/01/18 pubblicato in G.U. n° 8 del 20/02/2018 ed entrato in vigore il 22/03/2018) si ha che secondo la nuova normativa, che dal punto di vista geologico suddivide i terreni in categorie di suolo di fondazione (Tab. 3.2.II delle NTC) l'area andrà classificata in **CATEGORIA C** in quanto si è in presenza di terreni sabbiosi mediamente addensati e coesivi di media consistenza ( $180 < V_{s30} < 360 \text{ m/s}$ ,  $15 < N_{spt} < 50$ ,  $70 < C_u < 250 \text{ kPa}$ ); mentre la classe topografica (Tabella 3.2.III delle NTC) rientra nella **CATEGORIA T1**, cioè superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$ .

L'indagine sismica svolta dal Dott. Geologo Alessandro Pavan di Campoformido (UD) ha fornito una velocità delle  $V_{s30}$  pari a 271 m/s.

La Regione Emilia Romagna con la DGR n° 146 del 6 febbraio 2023 aggiorna la classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna in tre nuove zone sismiche. Secondo tale suddivisione

I Comuni di Massa Lombarda, Conselice e Lugo sono classificati come **“ZONA II”**, area di alta sismicità.

#### LIQUEFACIBILITÀ DEI TERRENI SOTTO FALDA

E' stata valutata la stabilità dei terreni di fondazione nei confronti della liquefazione, come stabilito dalle nuove norme tecniche NTC 2018 – Decreto 17 Gennaio 2018.

La verifica è stata eseguita utilizzando le resistenze misurate durante la prova CPT, inserendo il file dati penetrometrici nel software *Liquefaction potential estimation v.2.6*.

Le azione sismiche considerate sono state cautelativamente riferite agli stati limite di salvaguardia vita (SLV).

Questi i dati sismici di input:

- Accelerazione massima al suolo: 0.25 g (SLV)
- Magnitudo atteso nel sito: 5
- Categoria del sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1

L'analisi è stata eseguita con il metodo *Robertson et al. (1998)*, assumendo come suscettibili di liquefazione solo quei punti aventi indice  $I_c$  (Soil Behaviour Type Index; indice funzione della resistenza alla punta e dell'attrito laterale misurato nella prova CPT) minore di 2.6, secondo quanto prevede il criterio di calcolo del metodo Robertson & Wride.

**L'analisi eseguita sui dati di  $R_p$  e  $R_l$  rilevati nel corso della prova CPT**, di cui si riporta il dettaglio nella pagina seguente, ha permesso di stabilire **che i terreni di fondazione risultano mediamente stabili nei confronti della liquefazione**, per quanto riguarda gli stati limite di salvaguardia vita (SLV).

San Donà di Piave, 18/07/2025



# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

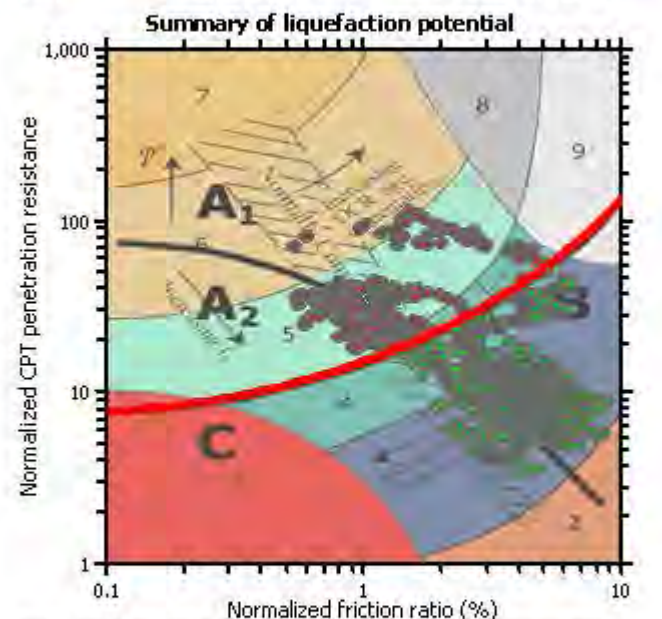
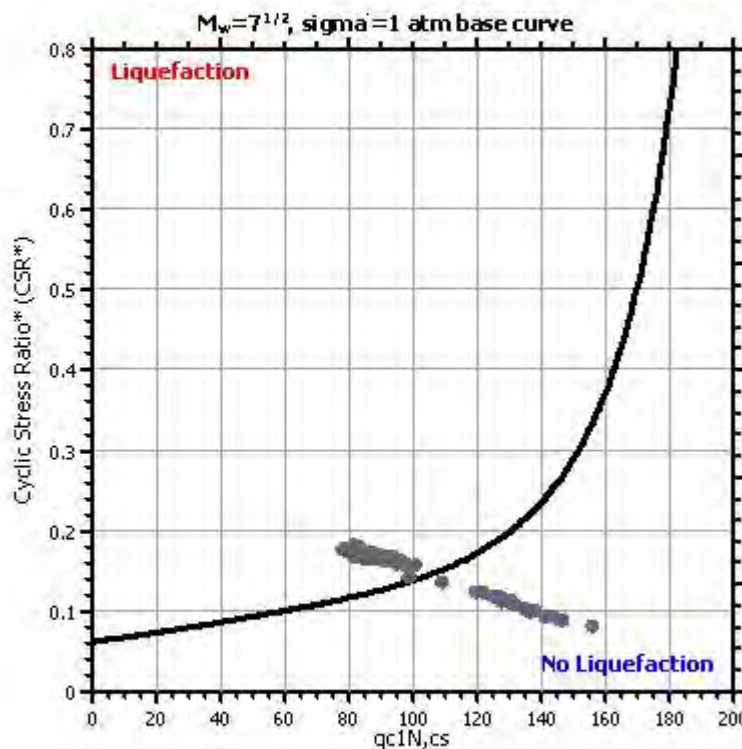
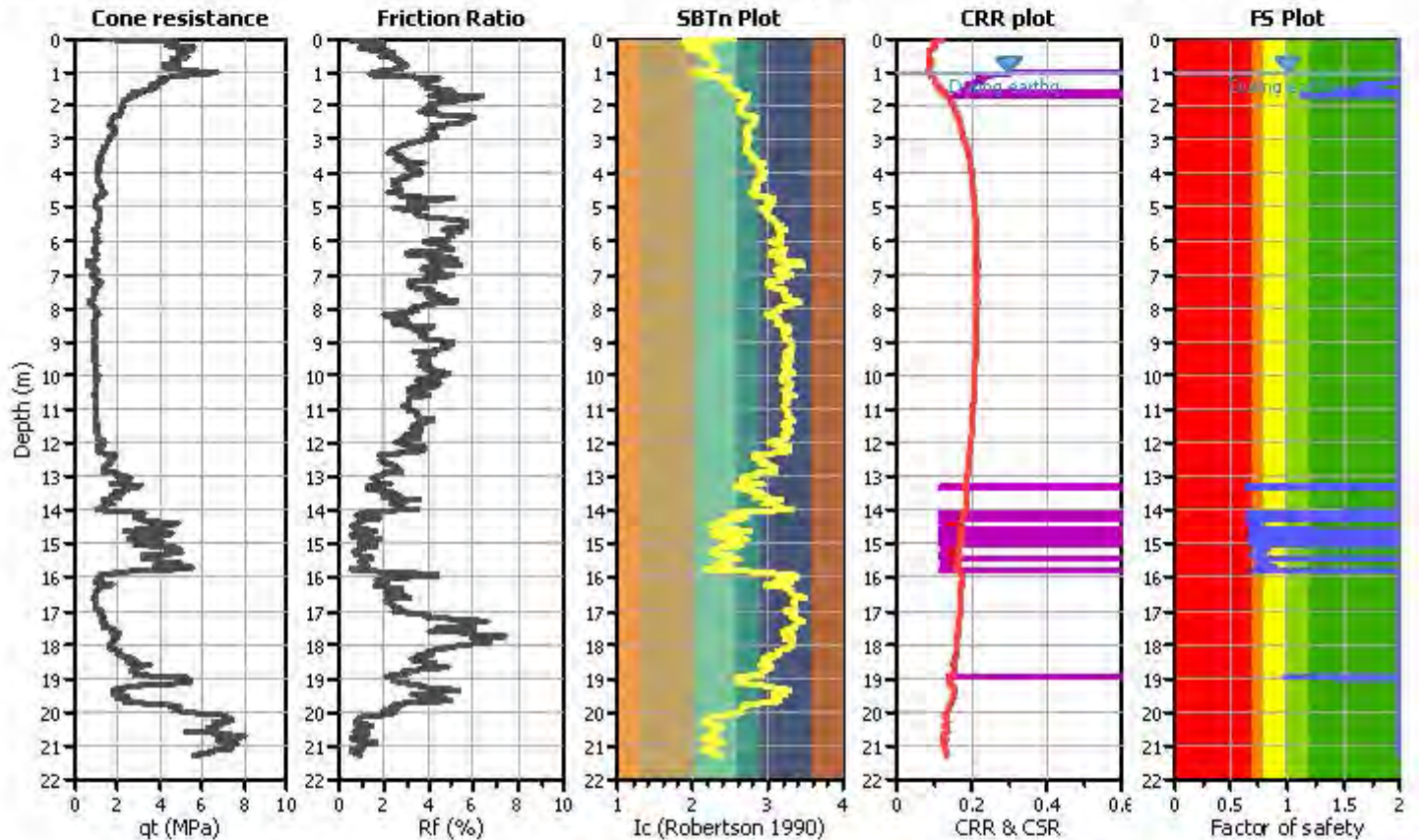
Project title : Campo fotovoltaico

Location : Massa Lombarda (RA)

CPT file : CPTu01

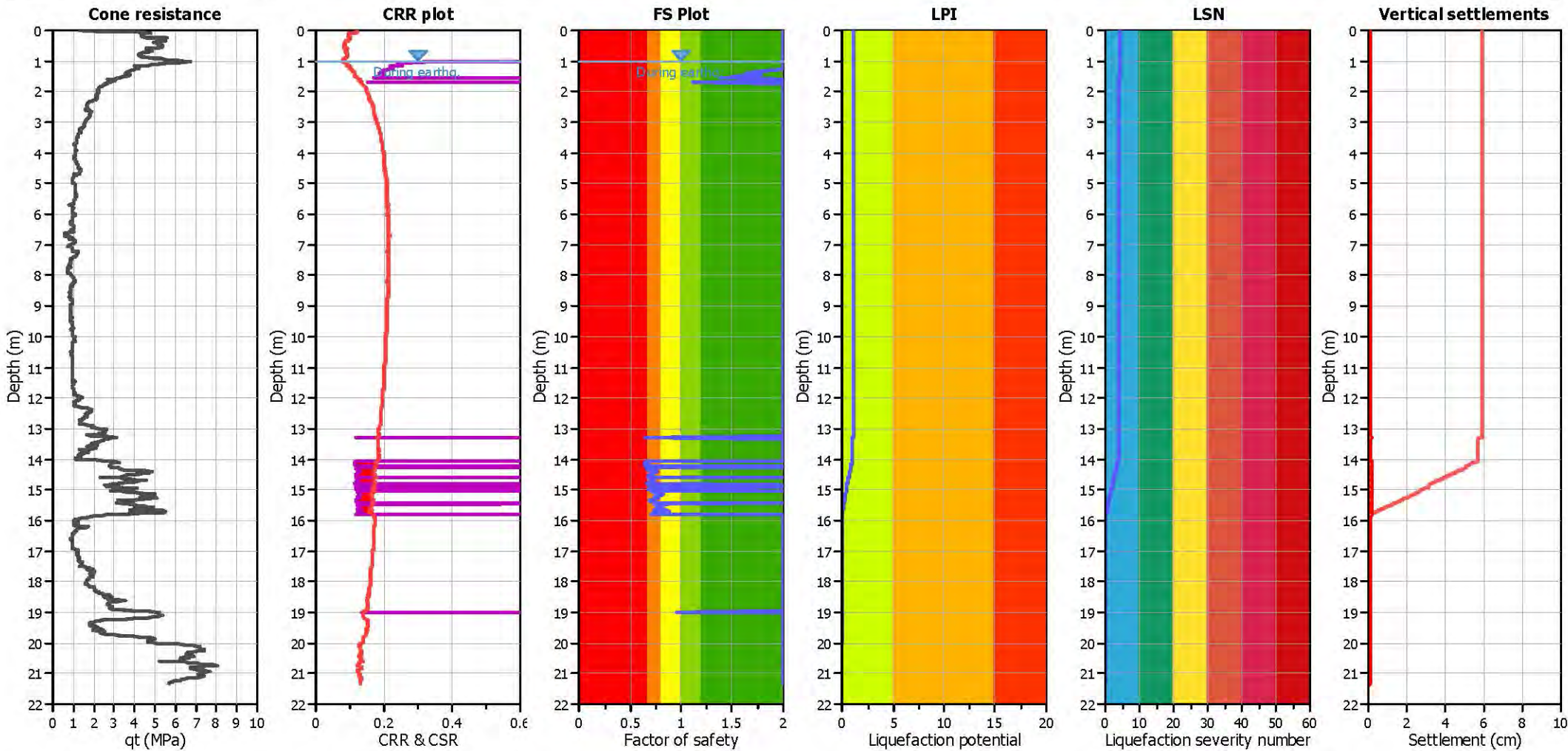
## Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	4.05 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.00	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MEF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.25	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	Yes		



Zone A<sub>1</sub>: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading  
 Zone A<sub>2</sub>: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry  
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening  
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness, strain to peak undrained strength and ground geometry

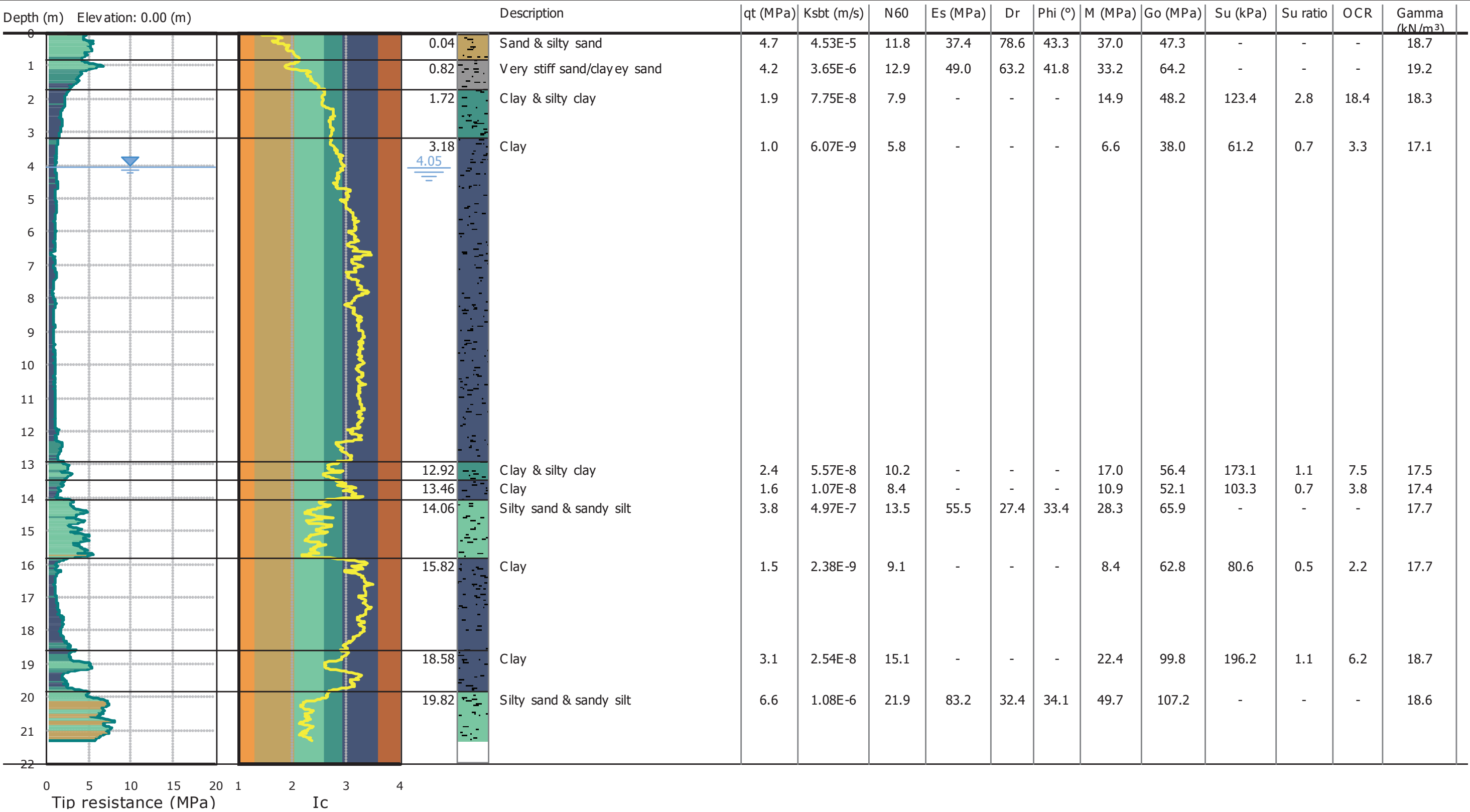




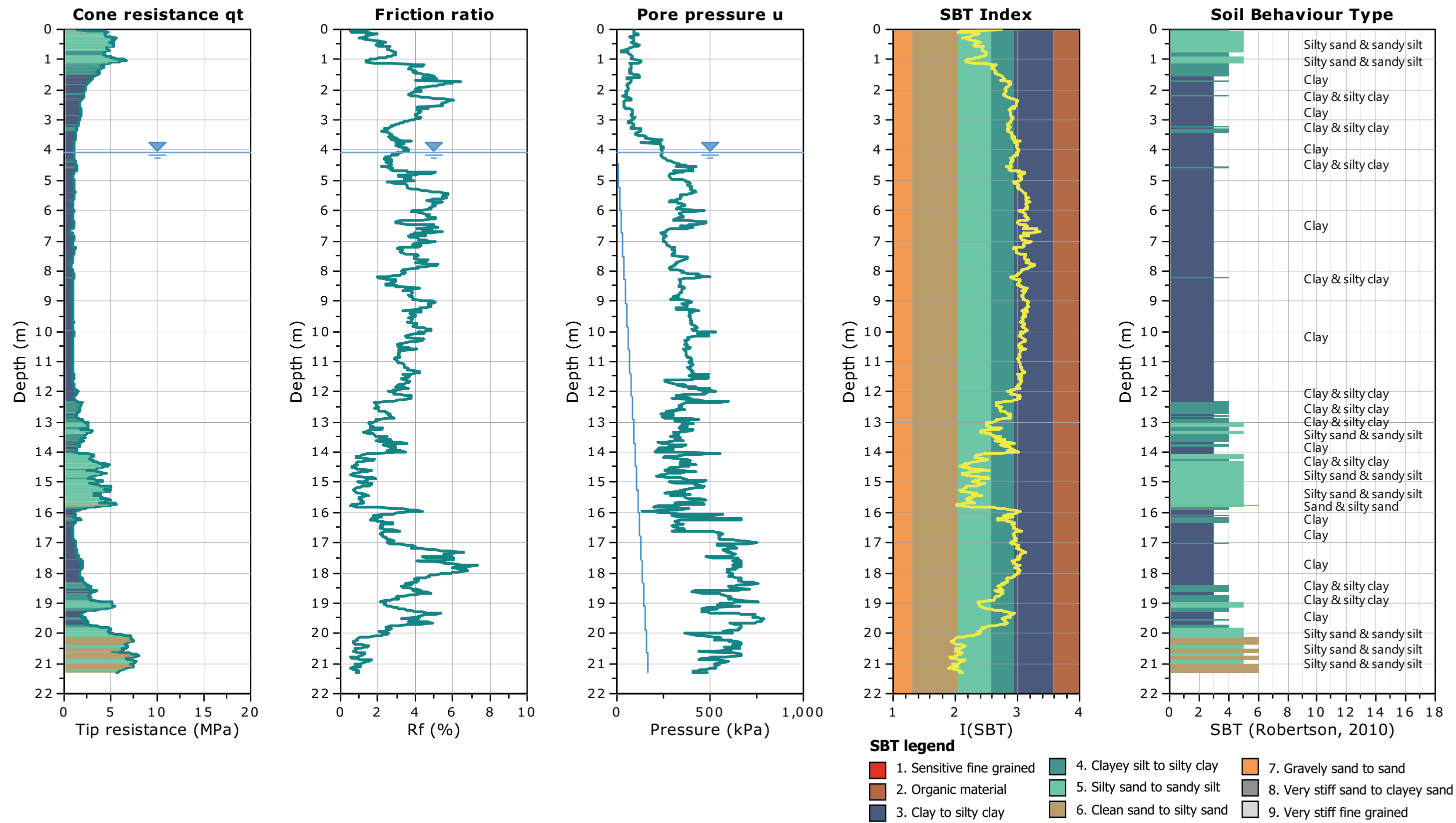
Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	4.05 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	.
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.00	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.25	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes	MSF method:	Method based

Project: Campo fotovoltaico  
Location: Massa Lombarda (RA)

CPTu01  
Total depth: 21.30 m  
Est. GWL: 4.05 m









REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI RAVENNA  
COMUNE DI MASSA LOMBARDA, LUGO, CONSELICE

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO 'FOSSATONE'  
CON POTENZA NOMINALE DI 61.270,56 kW DA REALIZZARSI  
NEI COMUNI DI MASSA LOMBARDA, LUGO E CONSELICE

INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE TECNICA HVSR

*Relazione tecnica*

CAMPOFORMIDO (UD)  
GIUGNO 2025

DOTT. GEOL. ALESSANDRO PAVAN



RELAZIONE 13\_25

*Studio dott. geol. Alessandro Pavan  
Via Vecchia Postale, 23 - 33030 Campoformido (UD)  
Tel: 3280389829 mail: alessandropavan82@libero.it  
Posta certificata: alessandro.pavan@pec.epap.it*

## SOMMARIO

INTRODUZIONE	3
CENNI SULLA TECNICA HVSR	3
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	3
ACQUISIZIONE DATI	4
SOFTWARE DI ELABORAZIONE DATI	4
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA INDAGINE HVSR	5
ELABORAZIONE DATI	5
RISULTATI	8



## INTRODUZIONE

Su incarico della committenza (STM26 S.r.l.), nel maggio 2025, presso terreni ad uso agricolo oggetto di trasformazione nell'ambito del progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico denominato "Fossatone", da realizzarsi tra i Comuni di Massa Lombarda, Lugo e Conselice, è stata realizzata un'indagine geofisica secondo la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) al fine di valutare la presenza di eventuali fenomeni di risonanza nel terreno e classificare la categoria di sottosuolo secondo le NTC 2018.

## CENNI SULLA TECNICA HVSR

La tecnica HVSR consiste nella misura passiva di rumore sismico ambientale (microtremori), ovvero di oscillazioni continue di piccola ampiezza originate dalla sovrapposizione di effetti generati sia da sorgenti naturali (perturbazioni meteorologiche a larga scala, vento, onde oceaniche,...) che da sorgenti antropiche (traffico, attività industriali,...), lungo tre assi ortogonali tra loro (N-S, E-W, U-D).

Le linee guida della tecnica per l'ottimizzazione del rilievo sono state illustrate dal progetto SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitation).

Il risultato dell'indagine HVSR è un grafico frequenza-ampiezza del rapporto tra il moto delle particelle lungo le componenti orizzontali e il moto delle particelle lungo la componente verticale (H/V).

Ciascun picco non industriale nel grafico H/V corrisponde generalmente ad una variazione di impedenza acustica  $I$  tra due mezzi ( $I=pv$ , dove  $p$  è la densità del mezzo attraversato e  $v$  è la velocità di propagazione delle onde sismiche nello stesso). Generalmente, il picco HVSR di origine naturale è determinato da una depressione nello spettro di ampiezza della componente verticale rispetto alle componenti orizzontali; i picchi di natura industriale, invece, si presentano come picchi positivi, di diversa ampiezza, su tutte e tre le componenti.

Nell'esempio semplificato di un sistema omogeneo e isotropo a due strati, quando all'interfaccia tra i due mezzi il rapporto delle impedenze è significativo, si genera un picco sulla curva del rapporto spettrale H/V in corrispondenza della frequenza di risonanza del sito ( $f_0$ ); tale frequenza dipende dalla profondità dell'interfaccia che genera il contrasto di impedenza ( $H$ ) e dalla velocità media di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) nello strato superficiale secondo la formula semplificata:

$$f_0 = V_s / 4H$$

Da ciò ne consegue che, a parità di  $V_s$  dello strato più superficiale, maggiore è la frequenza del picco di risonanza del sito e minore è la profondità della discontinuità che lo genera all'interno del sottosuolo. Viceversa, l'assenza di picchi di risonanza significativi sulla curva del rapporto spettrale H/V, indica sostanziale omogeneità all'interno del sottosuolo; tale situazione si verifica o in siti su roccia o in siti in cui la velocità di propagazione delle onde di taglio aumenta gradualmente con la profondità, senza significative variazioni di impedenza all'interno dello stesso.

## STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSr) sono avvenute mediante sismografo triassiale denominato Geobox, della ditta Sara Srl (Fig. 1).



Fig. 1: Strumentazione utilizzata per le misure di microtremore (HVSr)

## ACQUISIZIONE DATI

Sono state realizzate n°6 misure HVSr così denominate:

- Massa Lombarda 1;
- Massa Lombarda 2;
- Lugo 3;
- Massa Lombarda 4;
- Lugo 5;
- Conselice 6;

L'ubicazione dell'indagine HVSr è riportata in Fig. 2.

La frequenza di campionamento è stata pari a 100 Hz.

## SOFTWARE DI ELABORAZIONE DATI

Per l'analisi dei dati si è adottato il software WinMASW Academy della ditta EliaSoft.



Fig. 2: Ubicazione indagini HVSR con evidenziato in giallo il perimetro del campo fotovoltaico di progetto (da Google Earth)



## ELABORAZIONE DATI

Il segnale è stato ricampionato a 64 Hz e suddiviso in finestre di 20s; l'intervallo di analisi è stato  $0.5 \div 20$  Hz. L'elaborazione è stata condotta utilizzando i parametri riportati qui di seguito (Fig. 3).

The image shows a software interface for data processing, divided into two main sections:

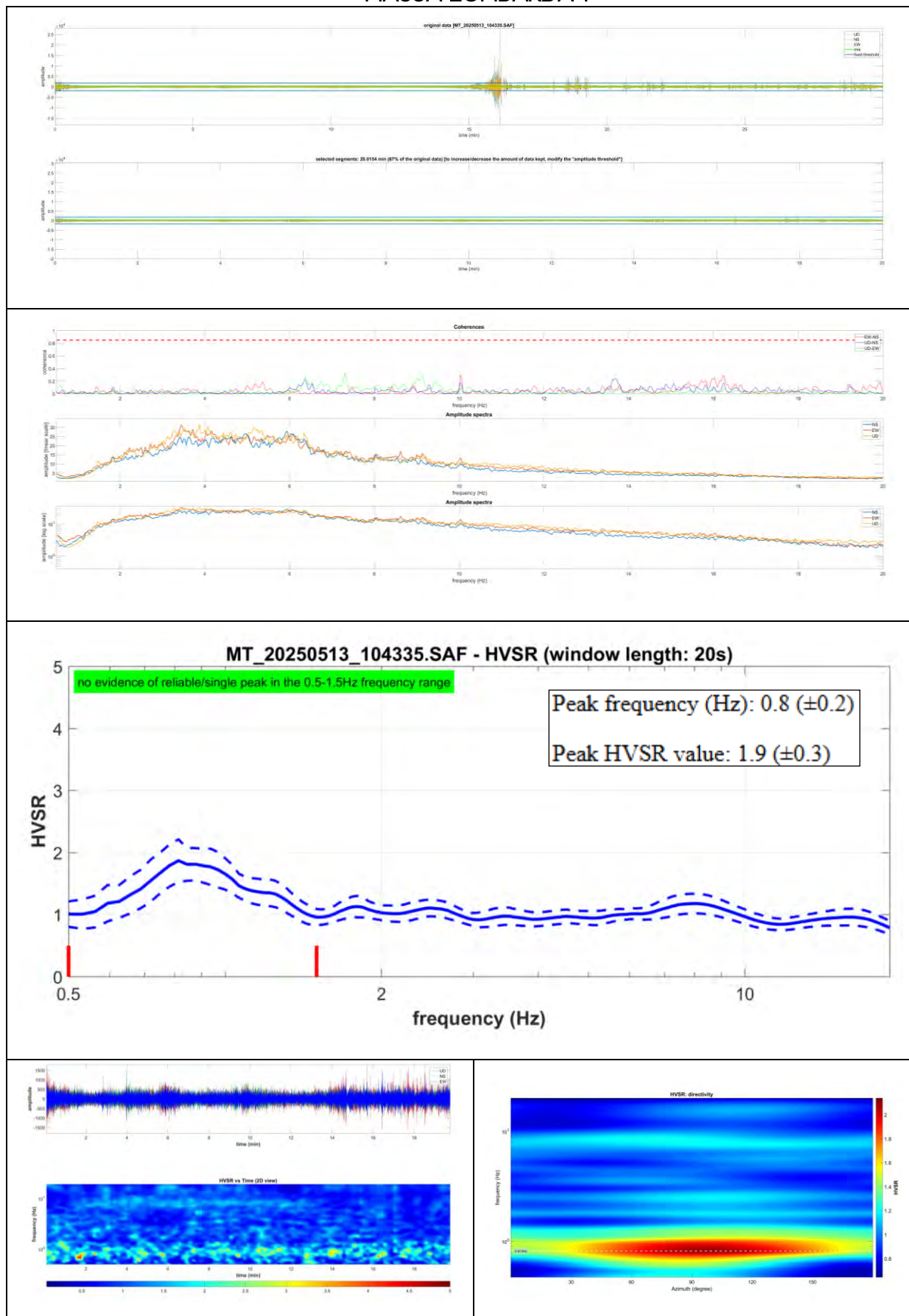
- step#1 (optional) - decimate**: Contains a dropdown menu set to "64 Hz", a text input field labeled "new frequency", and a "resample" button.
- step#2 - H/V computation**: Contains several controls:
  - A "remove events" button and a dropdown menu set to "both Rad. & ...".
  - A "clean axes" button.
  - Input fields for "window length (s)" (20), "tapering (%)" (5), "amplitude threshold" (5), and "HVSr threshold" (3).
  - A "test removal" button.
  - A dropdown menu for "spectral smoothing (triangular window)" set to "15%".
  - An input field for "detrending order" set to "2".
  - A dropdown menu for "no equalization" set to "no equalization".
  - Two checked checkboxes: "Particle motion, all HVSrS, time lapse and video" and "full ouput".
  - A "compute" button.

Fig. 3: Parametri utilizzati nell'elaborazione

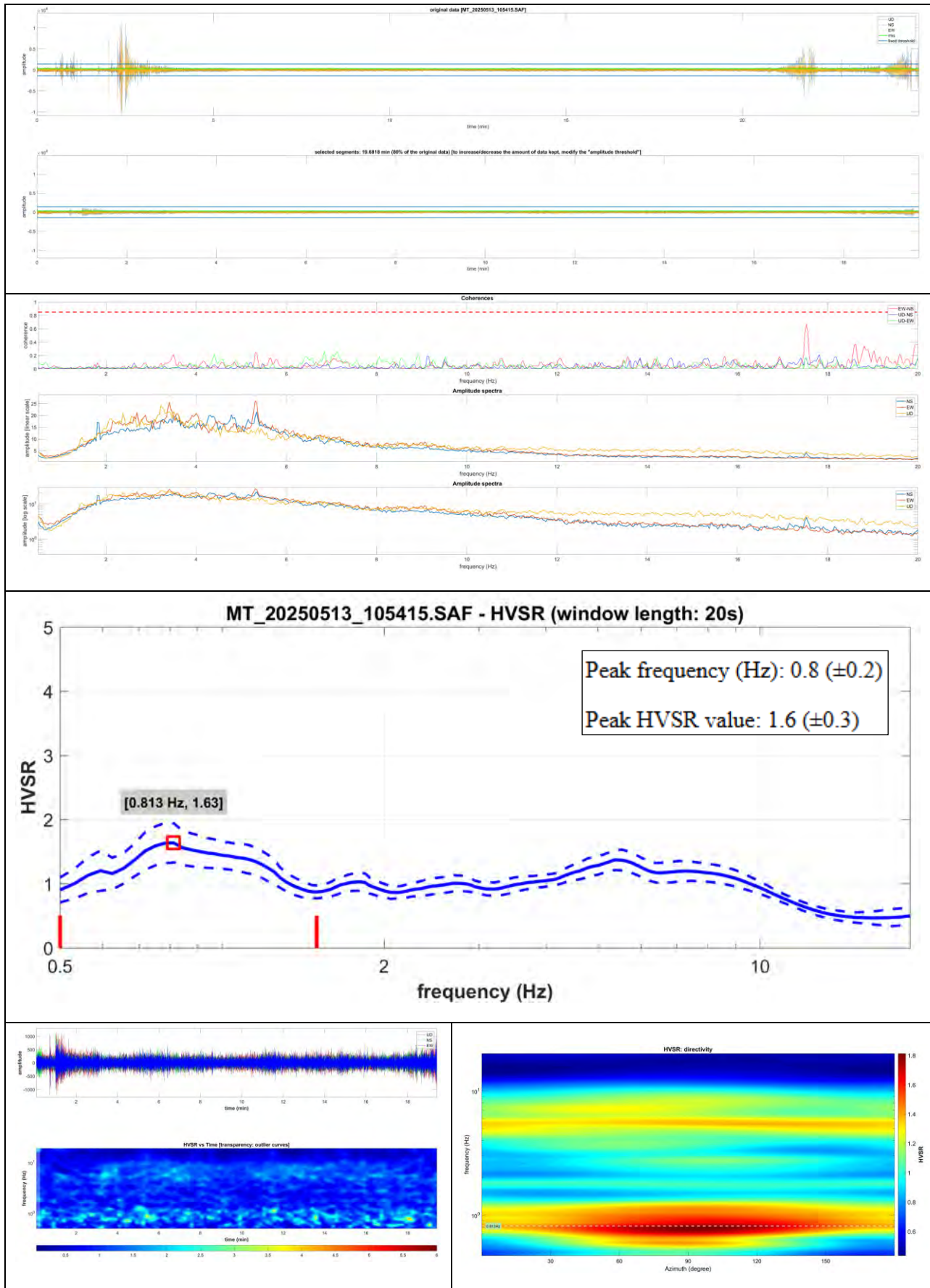
Qui di seguito si riportano i grafici relativi alle misure effettuate che comprendono, nell'ordine:

- dati originali e soglie applicate per la rimozione di eventuali transienti;
- funzioni di coerenza in funzione della frequenza e spettri di ampiezza in scala lineare e bilogaritmica;
- rapporto spettrale H/V;
- persistenza e direzionalità del segnale;

# MASSA LOMBARDA 1

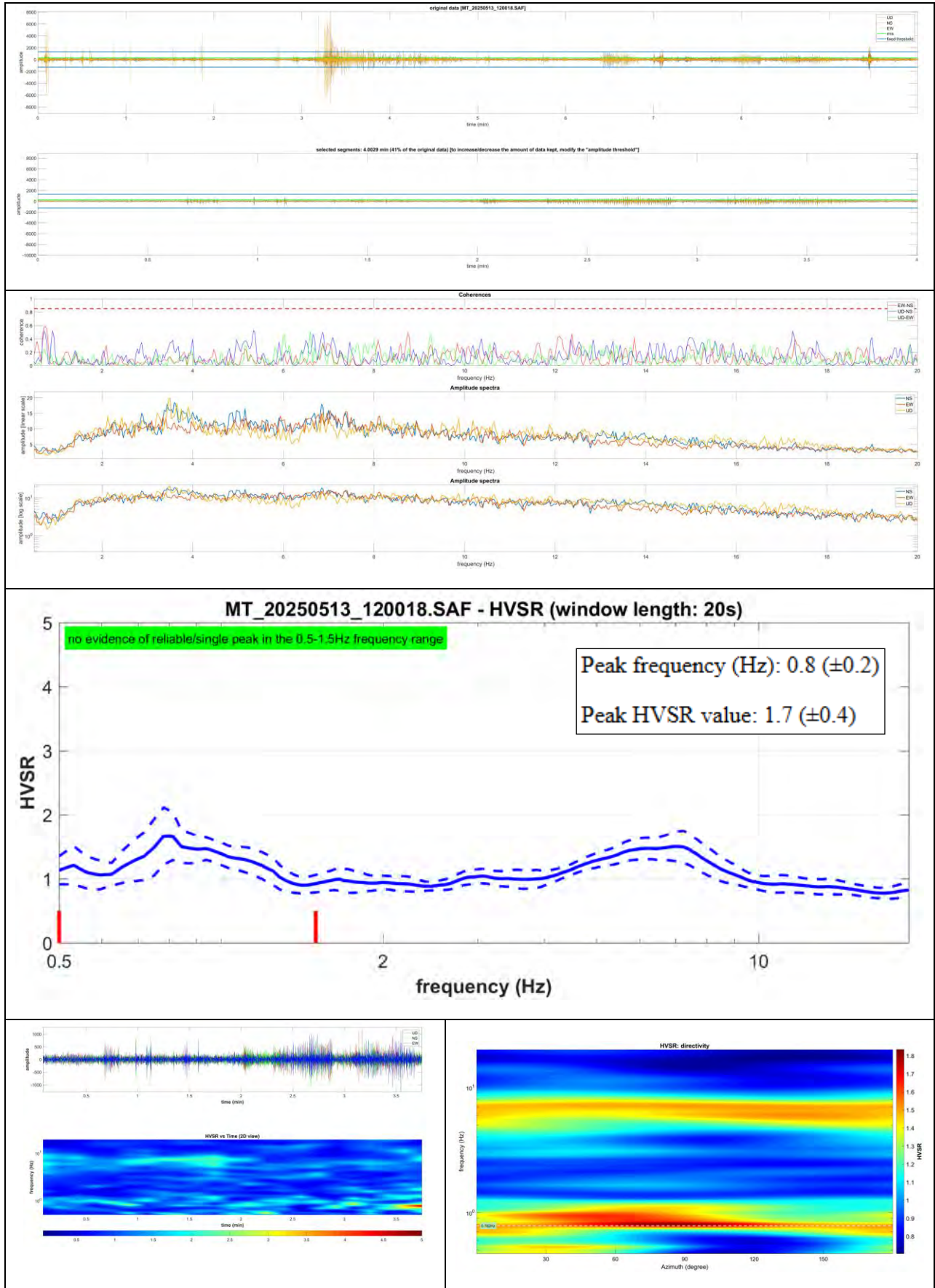


## MASSA LOMBARDA 2

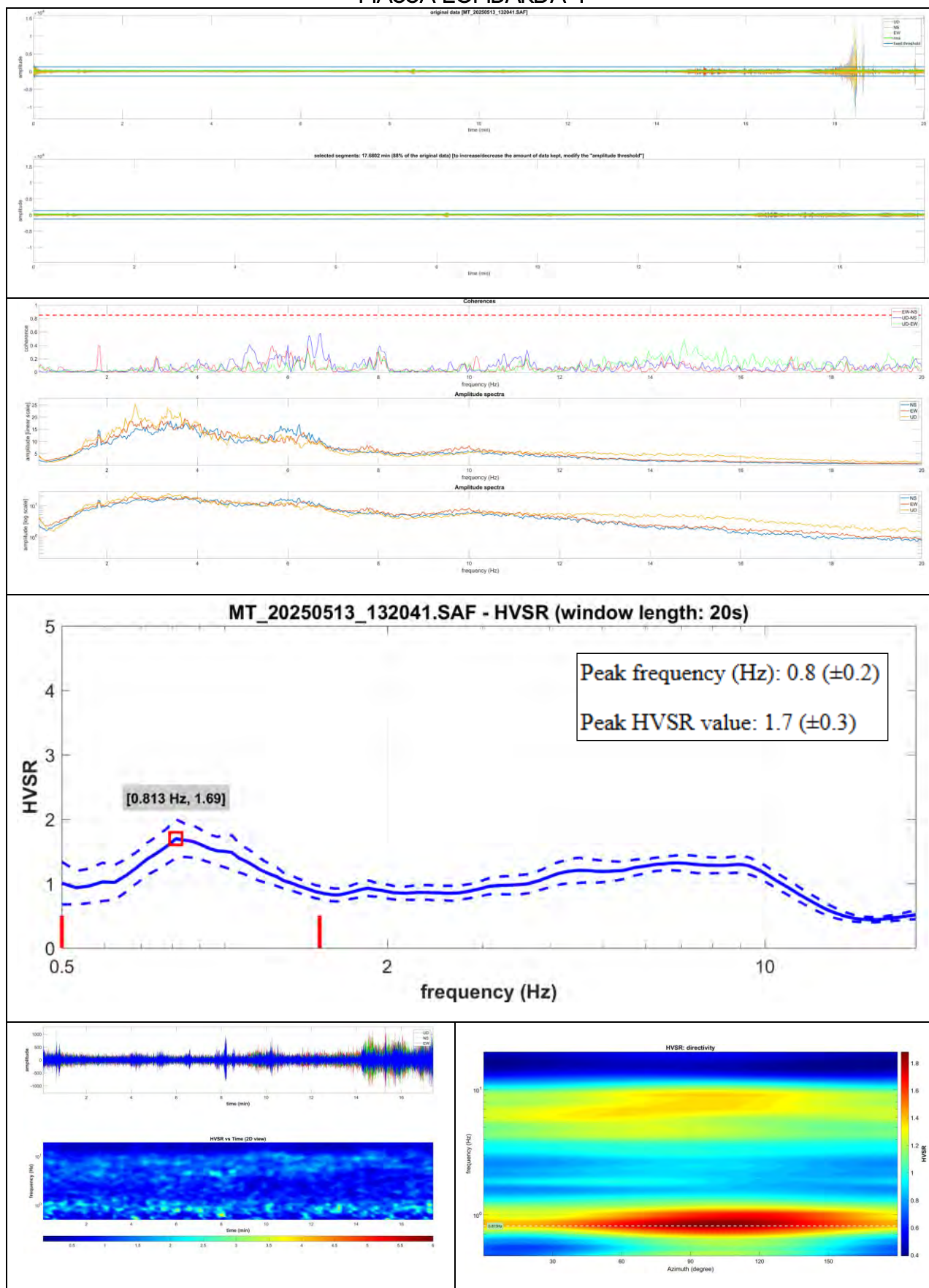




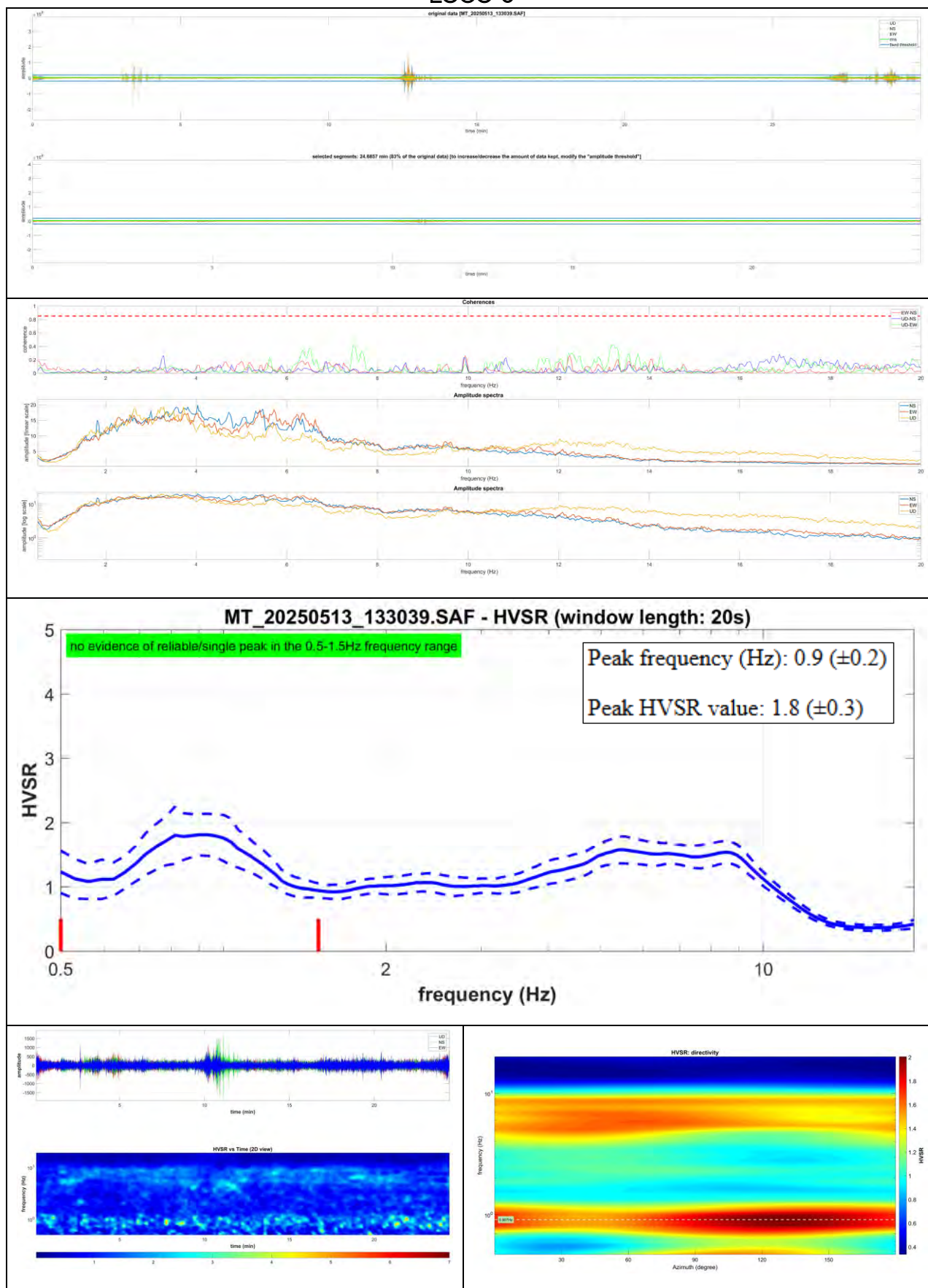
# LUGO 3



# MASSA LOMBARDA 4

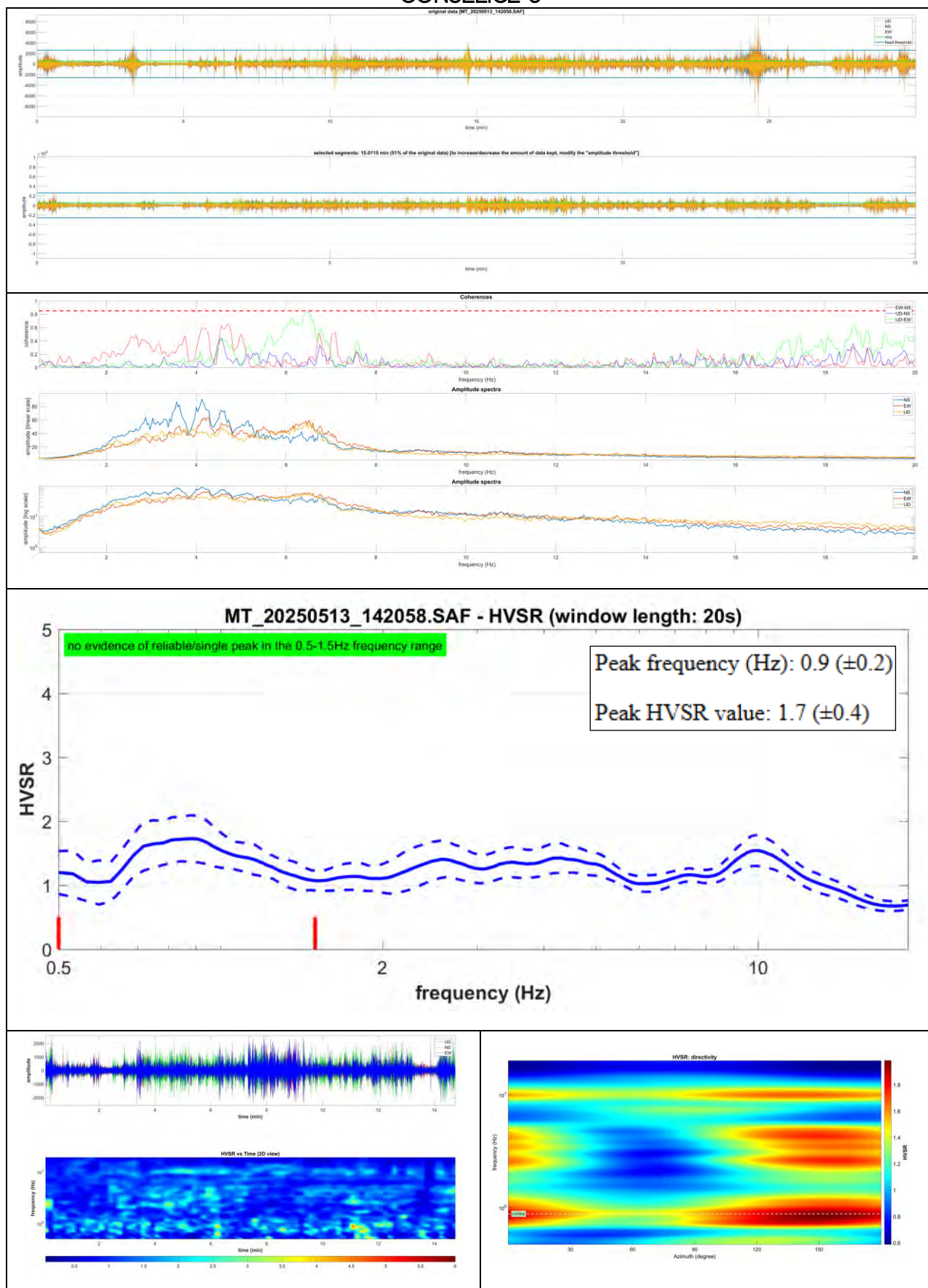


# LUGO 5





# CONSELICE 6







## RISULTATI

I risultati delle misure HVSR possono essere riassunti nella tabella seguente.

HVSR	$f_0$ [Hz]	Ampiezza
Massa Lombarda 1	0.8	1.9
Massa Lombarda 2	0.8	1.6
Lugo 3	0.8	1.7
Massa Lombarda 4	0.8	1.7
Lugo 5	0.9	1.8
Conselice 6	0.9	1.7

La sovrapposizione delle curve H/V evidenzia una situazione geologica sostanzialmente omogenea in tutta l'area indagata. Si osserva in particolare:

- un picco ben definito nell'intervallo  $0.8 \div 0.9$  Hz, con ampiezza comunque sempre inferiore a 2, legato ad un contrasto di impedenza sismica profondo all'interno del sottosuolo;
- un inarcamento delle curve H/V, approssimativamente all'interno del range di frequenze  $5 \div 10$  Hz, legato ad un contrasto di impedenza sismica di lieve entità (ampiezza  $\leq 1.6$ ) e relativamente superficiale all'interno del sottosuolo;

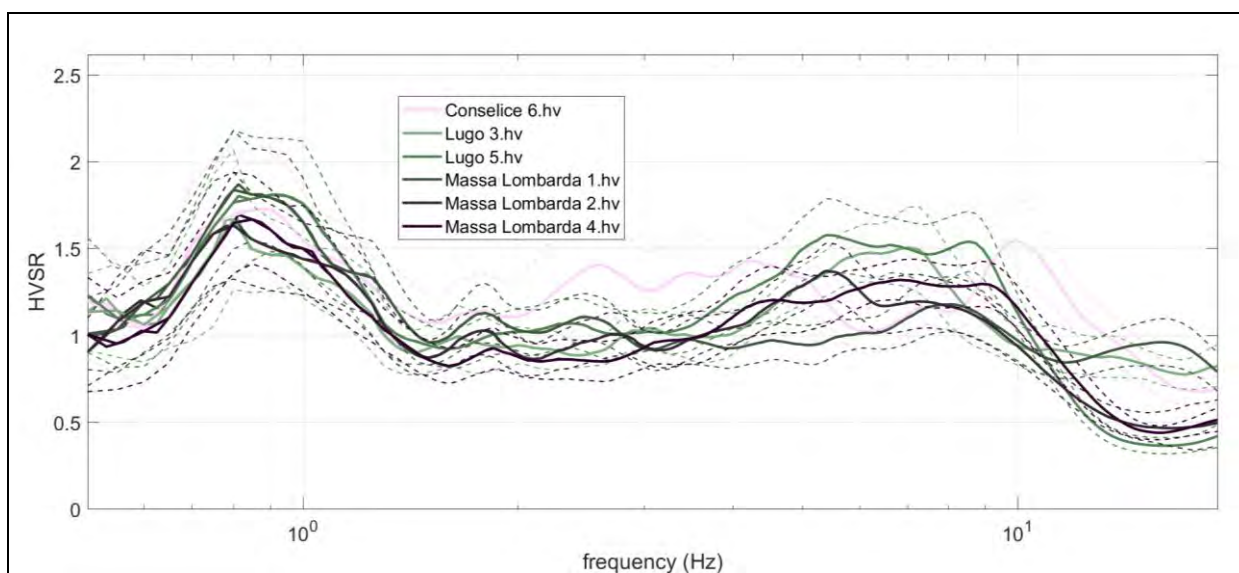


Fig. 3: Sovrapposizione curve H/V



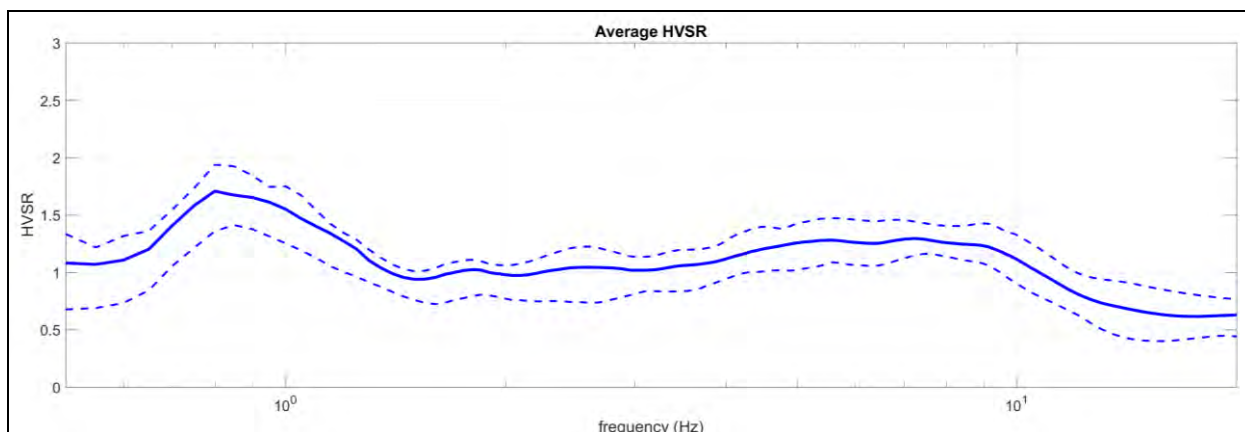


Fig. 4: Curva H/V media

Alla luce di quanto appena espresso, si è proceduto con la modellazione del sottosuolo a partire dalla curva H/V media, cercando di ottimizzare il più possibile il misfit tra la curva sperimentale (in verde) e quella teorica (in fucsia).

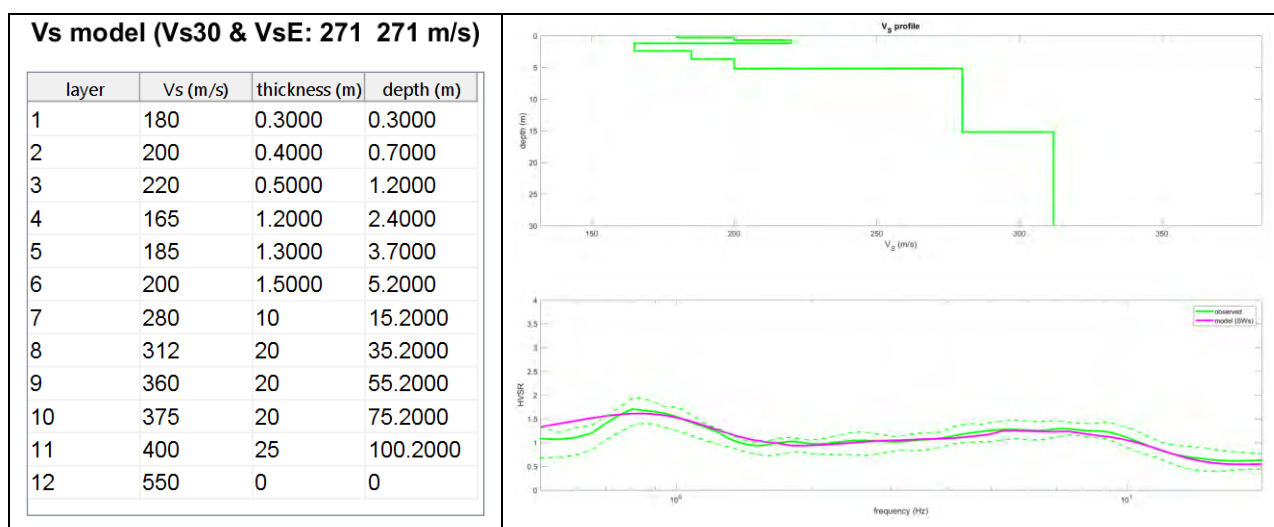


Fig. 5: Modellazione del sottosuolo a partire dalla curva H/V media

Il valore di velocità equivalente, rappresentativo di tutta l'area indagata, è risultato essere pari a 271 m/s; si può pertanto classificare il sito come appartenente alla categoria C dei suoli fondazionali, secondo le NTC 2018 (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*).

Campoformido (UD), 28 giugno 2025

DOTT. GEOL. ALESSANDRO PAVAN

