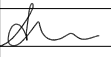
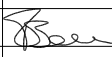




IMPIANTO DI RETE PER L'AMPLIAMENTO 132 kV  
DELLA CABINA PRIMARIA TRESIGALLO

COSTRUZIONE 3° STALLO LINEA IN CAVO  
UBICATO NEL COMUNE DI TRESIGNANA(FE)

PROCEDURA AUTORIZZATIVA (Atto e/o Decreto Regionale o Provinciale) N° - DEL -

PROGETTO DEFINITIVO

					
A	30.4.2025	111	013	093	Emissione per autorizzazione
REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
RICHIEDENTE  <b>SOLAR PV 18 s.r.l.</b> Piazza Castello, 19 20121 - Milano (MI)  FIRMA PER BENESTARE _____					TIPOLOGIA IMPIANTO CAPOFILA / POTENZA IN IMMISSIONE <b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO</b> POTENZA IN IMMISSIONE 21,00 MW  IMPIANTO <b>CP 132/15 kV TRESIGALLO</b>
INGEGNERIA & COSTRUZIONI  <b>BRULLI</b> IL DIRETTORE E RESPONSABILE TECNICO <b>trasmissione</b> 					TITOLO  <b>INDAGINE GEOLOGICA</b>
GESTORE RETE ELETTRICA  FIRMA PER BENESTARE _____					LIVELLO PROG. <b>P D</b> CODICE RINTRACCIABILITA' 392211454 TIPO DOCUMENTO <b>D 7</b> N° ELABORATO 508417A FOGLIO / DI 0 / 69
NOME FILE  <b>T R S - 0 1 2 - A</b>					SCALA - FORMATO A4



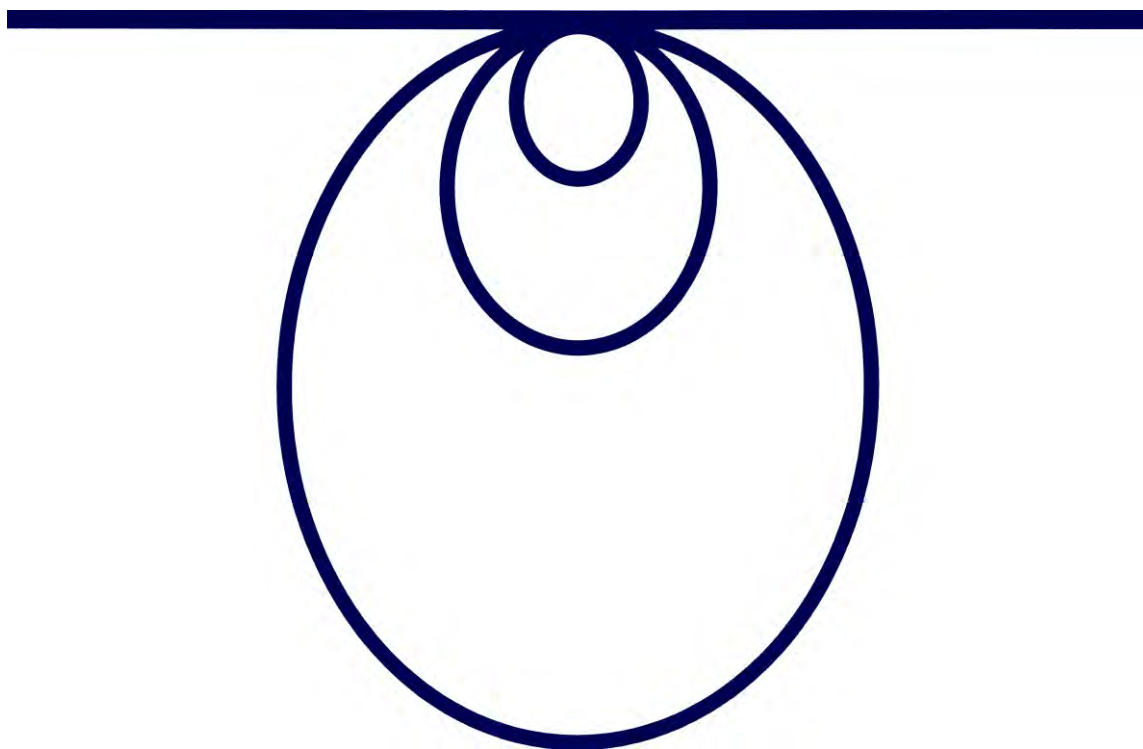
**Comune di Tresignana (FE)**  
*Località Tresigallo*



**Potenziamento della Cabina Primaria  
di Enel Distribuzione S.p.A.  
in località Tresigallo**

Relazione geologica, geomeccanica e sismica

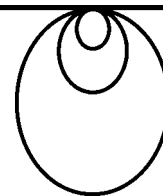
Gennaio 2025





STUDIO GEOLOGI ASSOCIATI

DI MAMBRINI – FARIOLI – CASSINADRI – CAMPIOLI - CASALI  
42124 REGGIO EMILIA – VIA EMILIA ALL'ANGELO, 14  
TELEFONO E FAX: 0522.934730  
E.MAIL: [geolog@geolog-sc.it](mailto:geolog@geolog-sc.it)  
P.IVA E C.F..02790320358



**Comune di Tresignana (FE)**  
*Località Tresigallo*



**Potenziamento della Cabina Primaria  
di Enel Distribuzione S.p.A.  
in località Tresigallo**

Relazione geologica, geomeccanica e sismica

Gennaio 2025

GEOLOGIA APPLICATA

GEOFISICA

GEOTECNICA

IDROGEOLOGIA E  
IDROLOGIA

MODELLI MATEMATICI

**Indice**

1	PREMESSA .....	2
2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	3
3	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT) .....	3
4	ELABORAZIONE DEI CPT .....	8
4.1	Stratigrafia .....	12
4.2	Caratteristiche geomeccaniche .....	14
4.2.1	Substrato argilloso - limoso .....	14
4.2.2	Interstrati sabbiosi .....	16
5	NOTE GEOLOGICO-TECNICHE .....	17
6	TEMATICHE SISMICHE .....	22
6.1	Pericolosità sismica di base .....	22
7	RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	25
7.1	Risultati del test HVSR .....	31
8	EFFETTI CO-SISMICI .....	32
8.1.1	Verifica del rischio liquefazione .....	32

**Allegati**

- 1 Report indagine con georadar
- 2 Report indagine sismica (MASW+HVSr)



## 1 PREMESSA

Su incarico di Brulli Trasmissione s.r.l. e per conto di Enel Distribuzione S.P.A. ho condotto un'indagine geognostica e sismica per il *Progetto di potenziamento della Cabina Primaria in località Tresigallo*, nel Comune di Tresignana (FE).

La posizione dell'impianto è indicata dall'ellisse gialla nell'immagine zenitale di figura 1.



*figura 1*

Il tema del lavoro è la determinazione della stratigrafia e delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni, in vista della progettazione esecutiva delle fondazioni degli impianti (nuovo Stallo AT).

D'interesse è anche al risposta sismica locale.

Le *Norme tecniche per le Costruzioni (NTC 2018)* sono il doveroso riferimento di tutto ciò.

## 2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in cui ricade la Cabina Primaria fa parte della piana fluvio-deltizia orientale del Fiume Po, il cui corso principale scorre 16 km più a Nord.

Come noto, dal punto di vista geologico un "delta" è un accumulo di sedimenti che si forma in condizioni subaeree e subacquee per una combinazione di processi fluviali e marini che operano in un'area di foce.

La sedimentazione nella piana deltizia emersa riflette l'evoluzione dei canali che l'attraversano, strettamente correlata ai periodi di piena.

In condizioni normali i canali trasportano i sedimenti fino alla foce ma durante le piene grandi quantità di sedimenti finiscono dagli argini e si accumulano nella piana, mantenendone il livello poco sopra a quello del mare, in competizione con la subsidenza.

Dunque a depositi incoerenti tipici di corrente trattiva (paleo-canali) si affiancano terre fini (limi e argille) da ascrivere a sedimentazione da acque ferme, quali le aree di esondazione inter-canale.

L'assetto stratigrafico della zona è caratterizzato dalla presenza di potenti corpi sabbiosi in profondità (a partire da -15÷20 m), talora alternati a livelli limo-argillosi, di età Pleistocenica.

D'altra parte nei sedimenti di età Olocenica superficiali il rapporto s'inverte, prevalendo le terre fini (limi e argille) sulle sabbie; spesso si trovano anche argille ricche di sostanze organica e torba, sedimenti tipici di aree palustri.

Talora questa circostanza limita la fattibilità di tradizionali fondazioni dirette; l'alternativa è ovviamente il ricorso a fondazioni speciali (palificate).

La prima falda generalmente si colloca intorno a - 1÷2 m dalla superficie.

Le coordinate geografiche del centro dell'area d'imposta dei nuovi impianti sono:

Latitudine 44.8275°, Longitudine 11.8962° (ED50).

## 3 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

La natura dei terreni della zona consente il ricorso alla prova penetrometrica statica (CPT) quale metodica d'indagine geognostica.

La tecnica prevede l'infissione quasi-statica nel suolo di un puntale meccanico standard, composto dalla punta vera e propria e, a seguire, da un manicotto del medesimo diametro.

Una nota può tornare utile a Chi non conosce questo particolare sondaggio.

Lo sfilo in successione dei due elementi consente al dinamometro posto in superficie la rilevazione di due forze, vale a dire la resistenza opposta dal terreno alla sola punta ( $q_c$ ) e quella sommata all'attrito laterale agente sul manicotto.

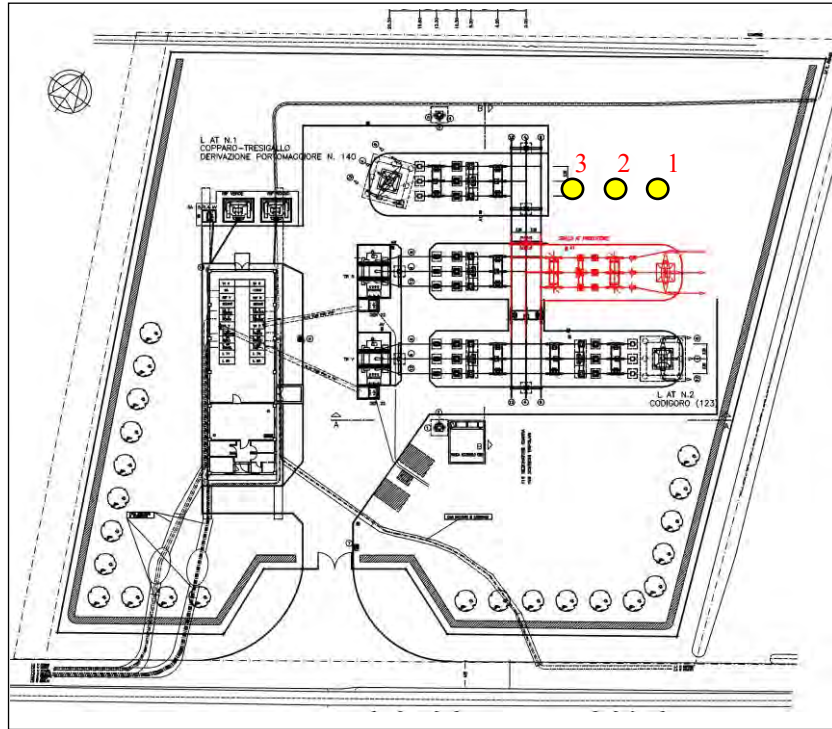
Per differenza si ricava tale attrito ( $f_s$ ).

La manovra si ripete ogni 20 cm, tratto dove avviene la richiusura del dispositivo.

Aggiungendo via via nuove aste, si esplora l'intero spessore perforabile con quella tecnica.

Nella fattispecie ho proceduto all'esecuzione di 3 CPT spinti a - 20 m dalla superficie.

L'ubicazione dei sondaggi è argomento di figura 2.



*figura 2: ubicazione prove penetrometriche statiche (CPT)*

Come si vede, su richiesta di Enel le prove state distribuite in un'area adiacente a quella di sedime, impraticabile per motivi di sicurezza.

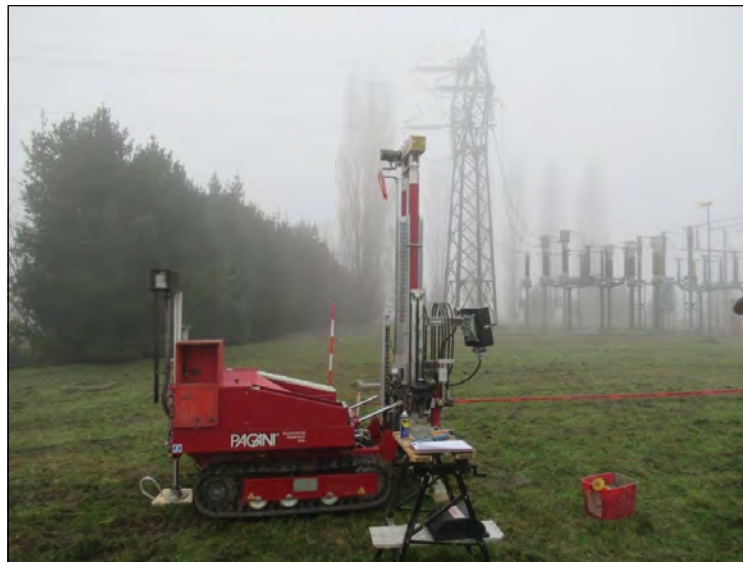
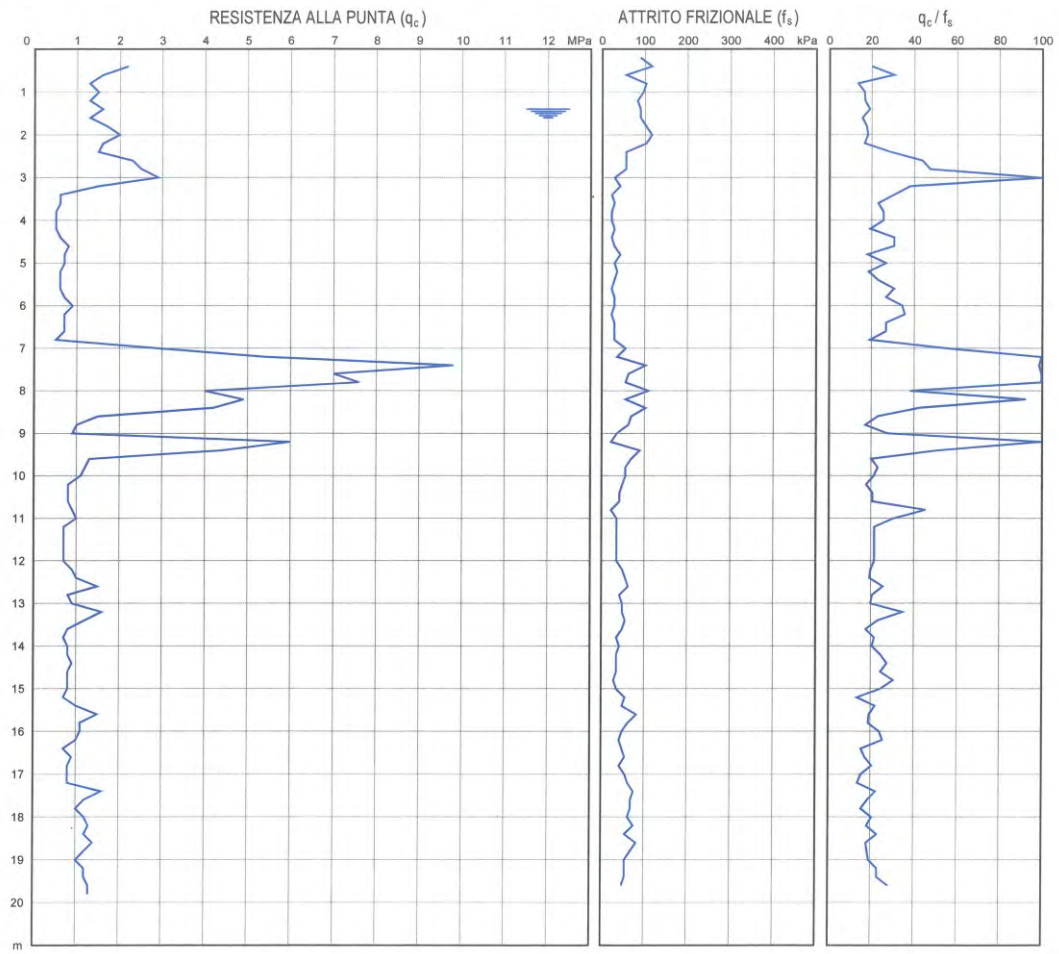
Ciò non pregiudica l'affidabilità dei dati, considerata la generale uniformità dei terreni in questa parte di Pianura.

La sonda utilizzata, della ditta individuale Dr. Nicola Caroli di Scandiano (RE), è un penetrometro Pagani TG63 di potenza nominale pari a 200 kN, installato su un mezzo cingolato.

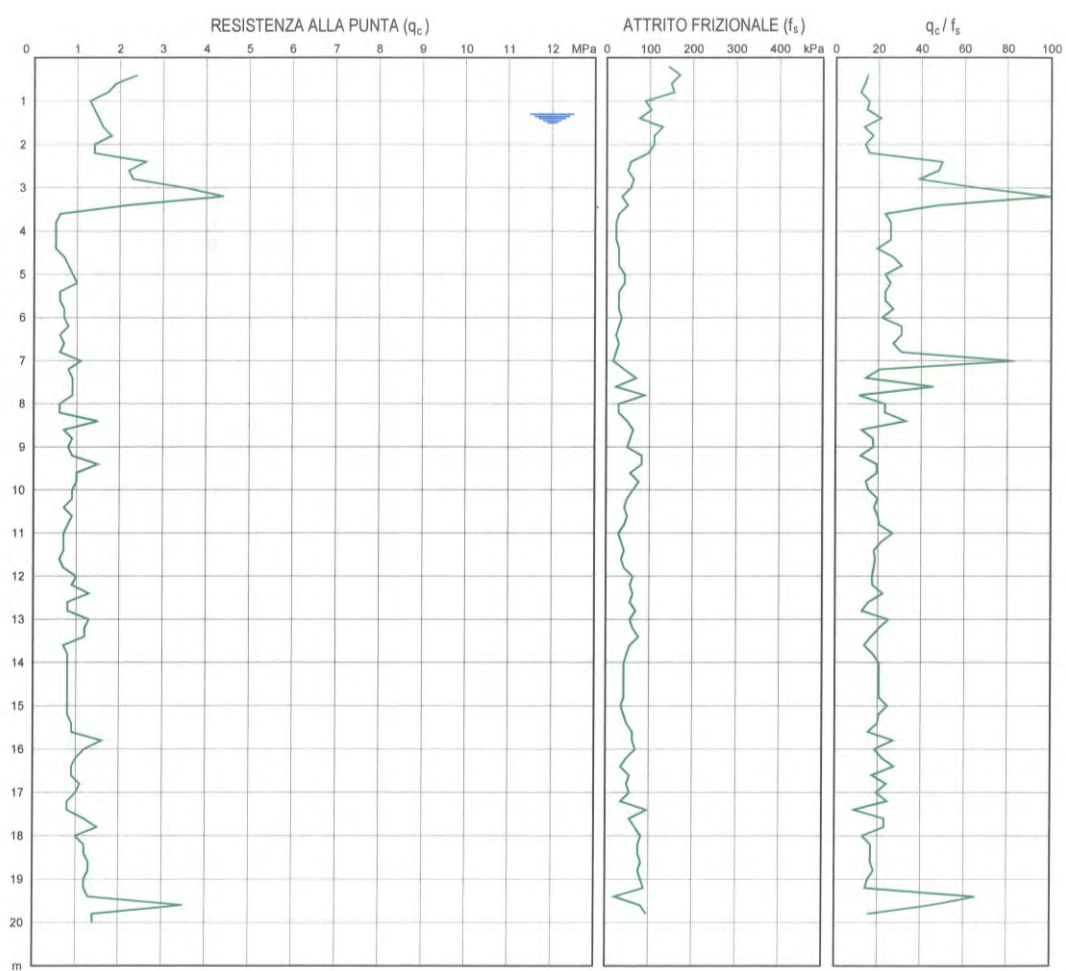
L'esecuzione delle prove è stata preceduta da un'indagine georadar, per verificare l'eventuale presenza di linee interrato nei punti di sondaggio; i risultati della prospezione sono in allegato (1).

I dati di campo sono diagrammati nelle figure 3÷5, a cui sono associate fotografie per individuarne la posizione a piena scala.



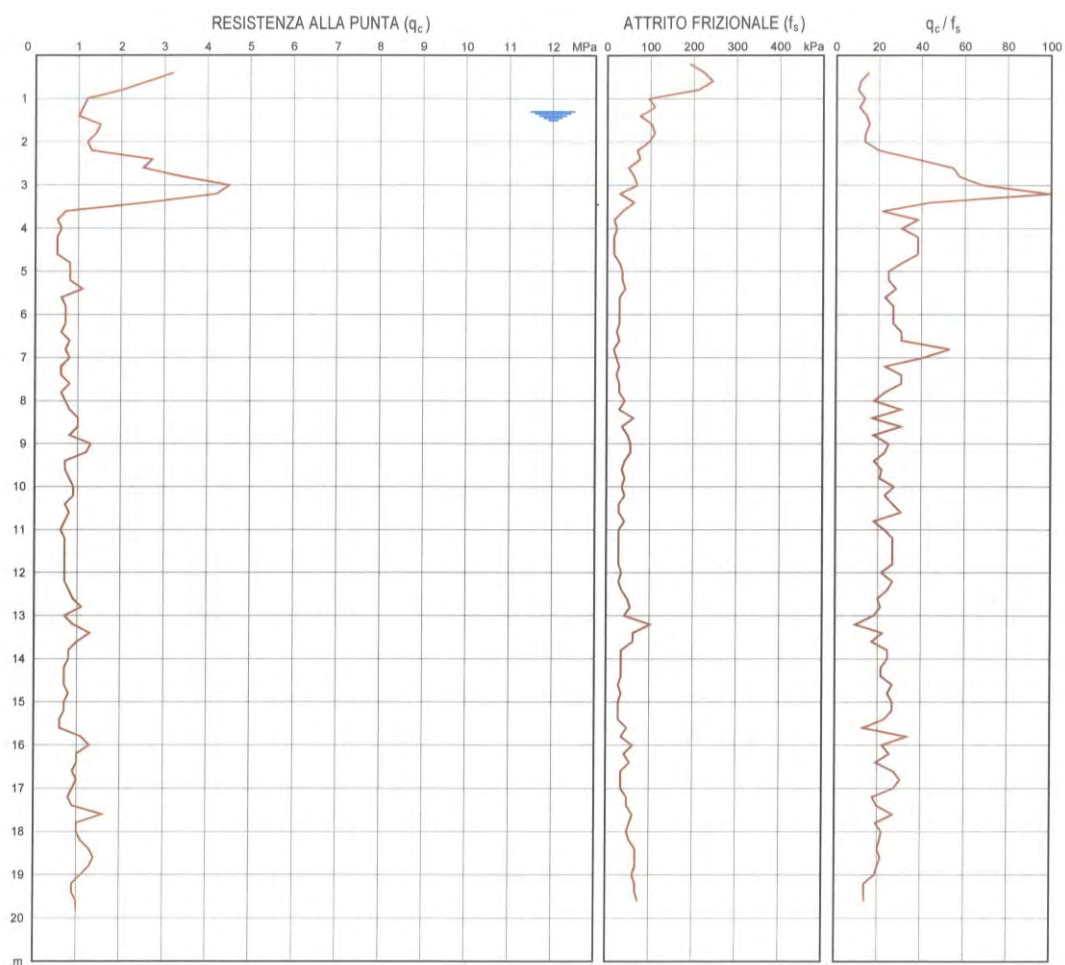


*figura 3: diagramma CPT 1 e ripresa fotografica*



*figura 4: diagramma CPT 2 e ripresa fotografica*





*figura 5: diagramma CPT 3 e ripresa fotografica*

#### 4 ELABORAZIONE DEI CPT

I dati penetrometrici sono stati processati mediante un nostro codice di calcolo che fornisce una serie di parametri geomeccanici oltre ai più probabili tipi litologici associati alle misure.

Le litologie derivano dall'abaco di Schmertmann (1969) in figura 6.

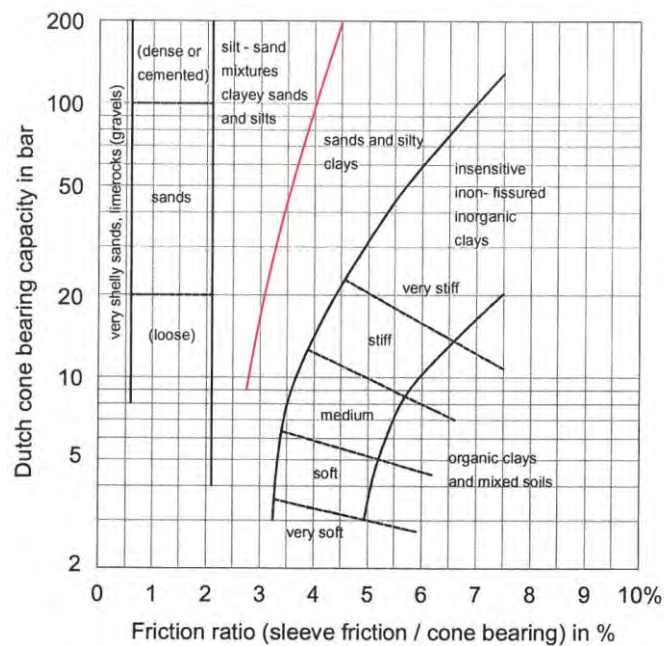


figura 6

La tensione litostatica efficace  $\sigma'_{v0}$  si calcola semplicemente attribuendo alle singole litologie pesi di volume  $\gamma$  tipici e mettendo in conto l'eventuale alleggerimento dovuto all'eventuale immersione in falda.

Nella derivazione dei parametri meccanici e della storia tensionale il programma divide i materiali incoerenti da quelli coesivi, con riferimento ad un valore discriminante del rapporto di frizione ( $f_s/q_c \times 100$ ).

Il confine è indicato dalla curva di colore rosso in figura 6.

Per i terreni incoerenti si calcola l'angolo d'attrito interno in termini efficaci  $\phi'$ , in accordo con l'abaco di Durgunoglu e Mitchell (1975) in figura 7.

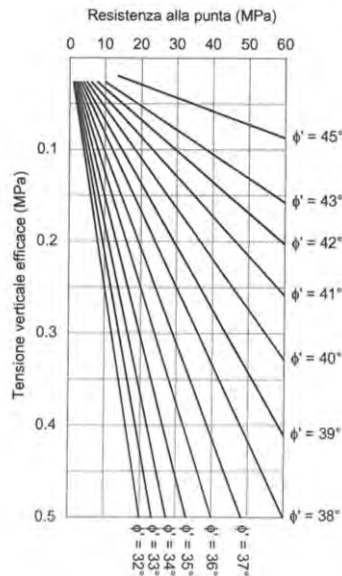


figura 7

Per i terreni coesivi si può risalire alla resistenza a taglio del terreno nelle condizioni di sforzo totale (vale a dire la coesione non-drenata  $c_u$ ) ed allo stato di consolidazione.

La coesione non drenata è derivata dall'espressione empirica:

$$c_u = \lambda (q_c - \sigma_{v0}) / (q_c/4 + 17,5)$$

con:

$q_c$  espressa in bar,  $\lambda = 0,75$  per i loams,  $\lambda = 1,00$  per le argille "magre",  $\lambda = 1,25$  per le argille "grasse",  $\lambda = 1,50$  per le torbe e le terre miste,  $\sigma_{v0}$  = tensione litostatica totale, stimata sulla scorta dei più probabili pesi di volume.

Quanto alla compressibilità dei terreni, dai valori  $c_u$  si può trarre il rapporto di sovraconsolidazione OCR tramite la relazione:

$$c_u / \sigma'_{v0} = (0,23 \pm 0,04) \text{OCR}^{0,8} \quad (\text{Ladd e Foot, 1974}).$$

Relativamente ad OCR, si sottolinea che per le terre fini esprime lo scostamento tra la resistenza misurata e quella che occorrerebbe attendersi qualora la consolidazione fosse avvenuta per effetto del semplice seppellimento.

OCR > 1 indica ovviamente uno stato precompresso.

Gli output grafici sono argomento delle figure 8÷10 seguenti.

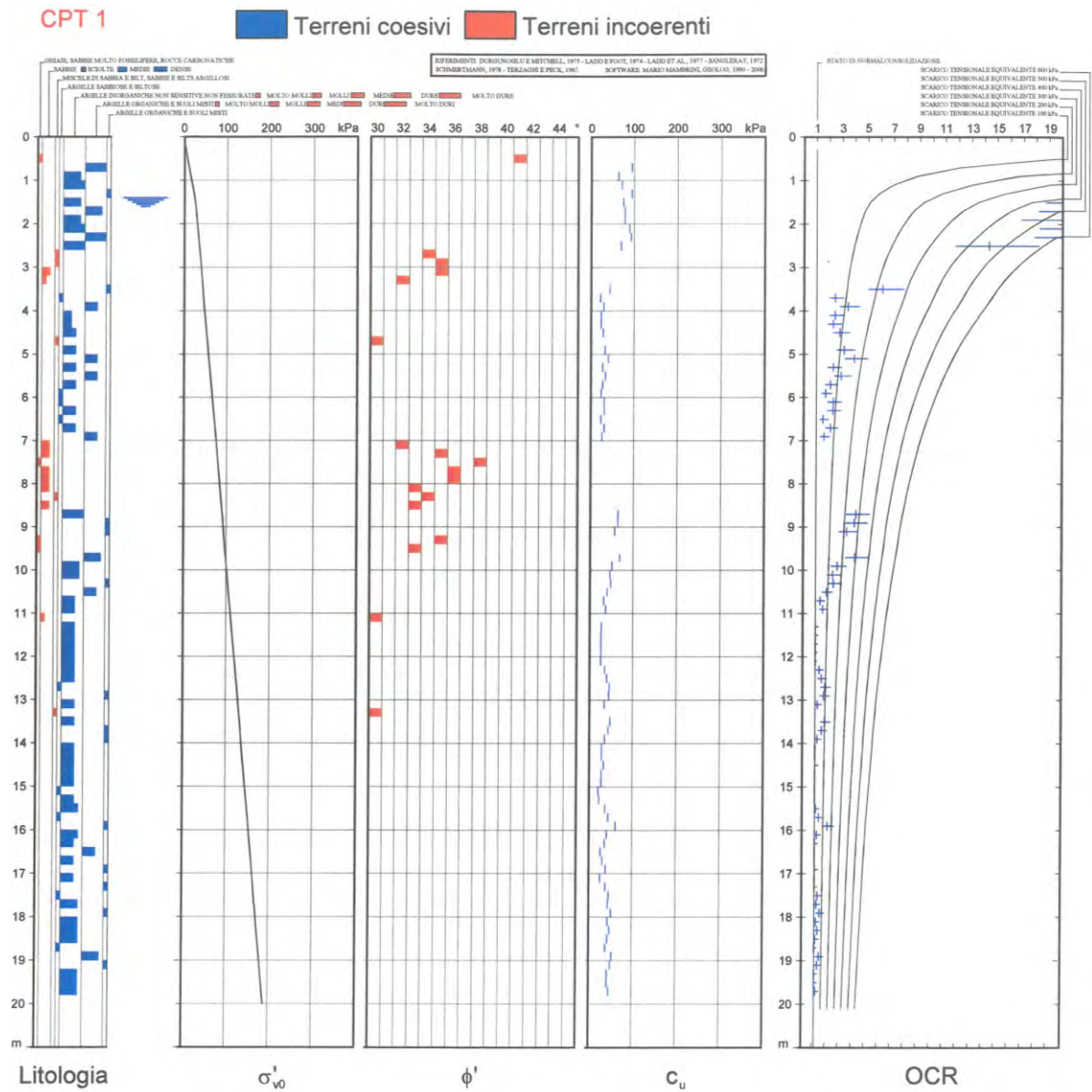


figura 8: interpretazioni CPT 1



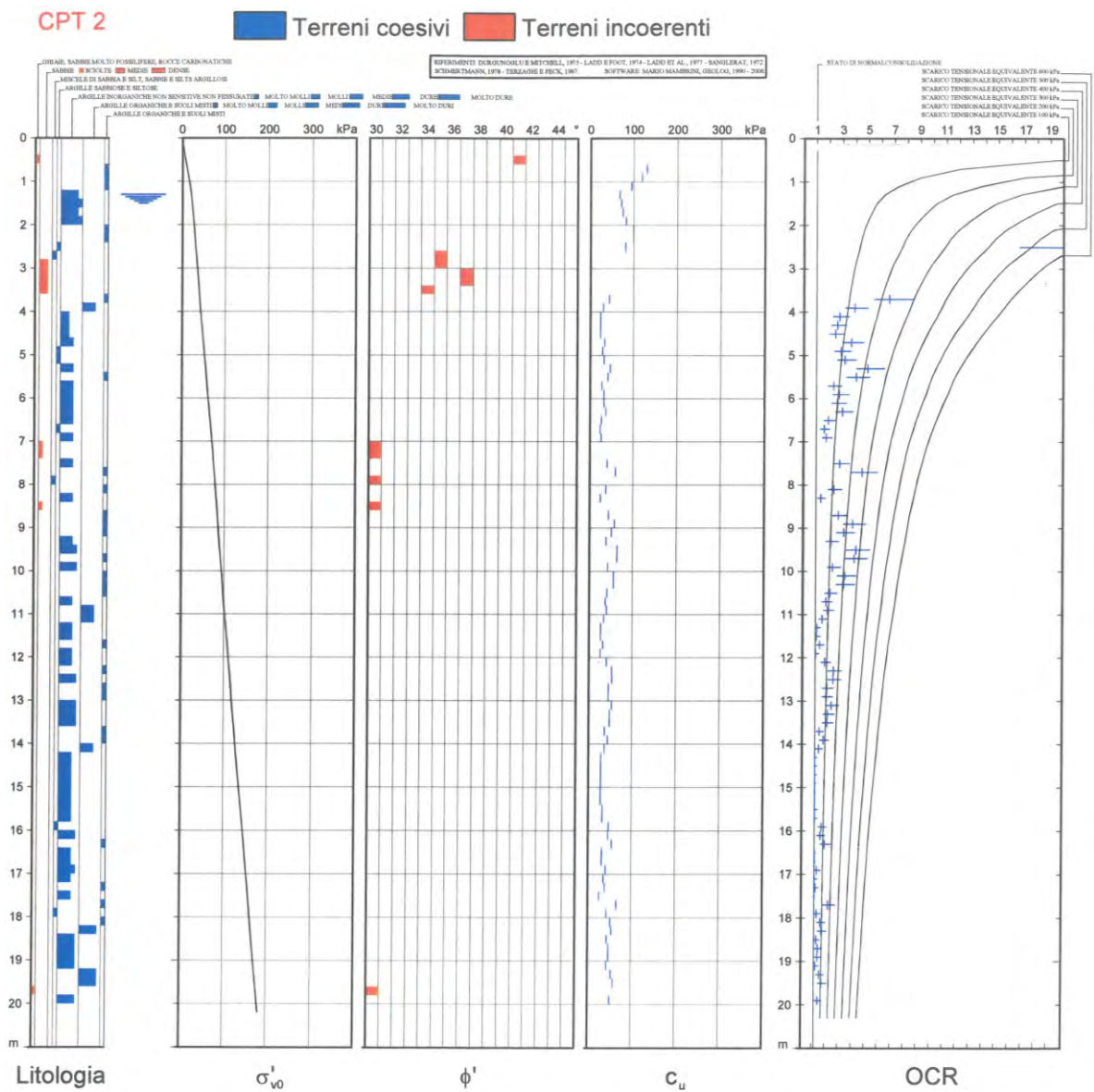


figura 9: interpretazioni CPT 2



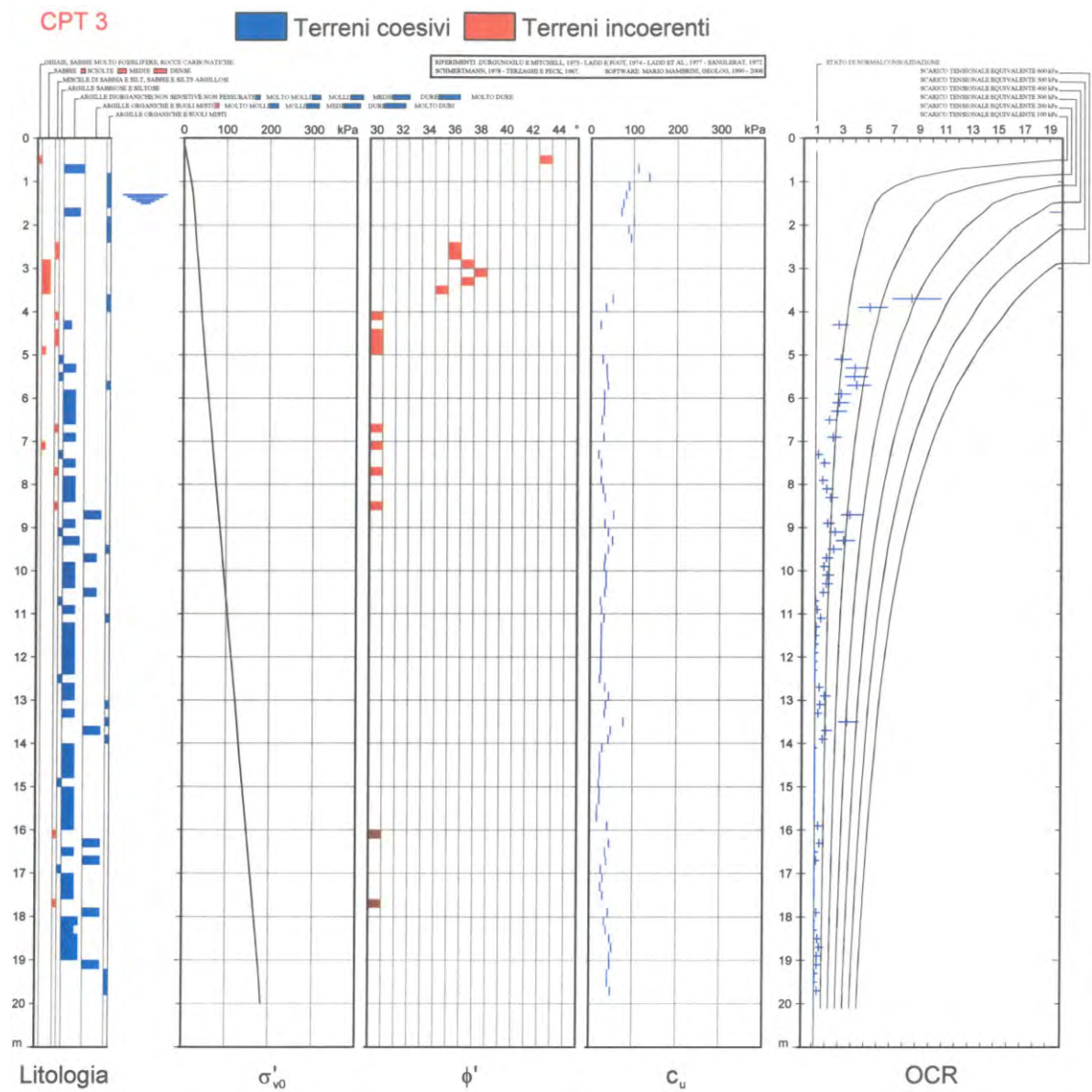
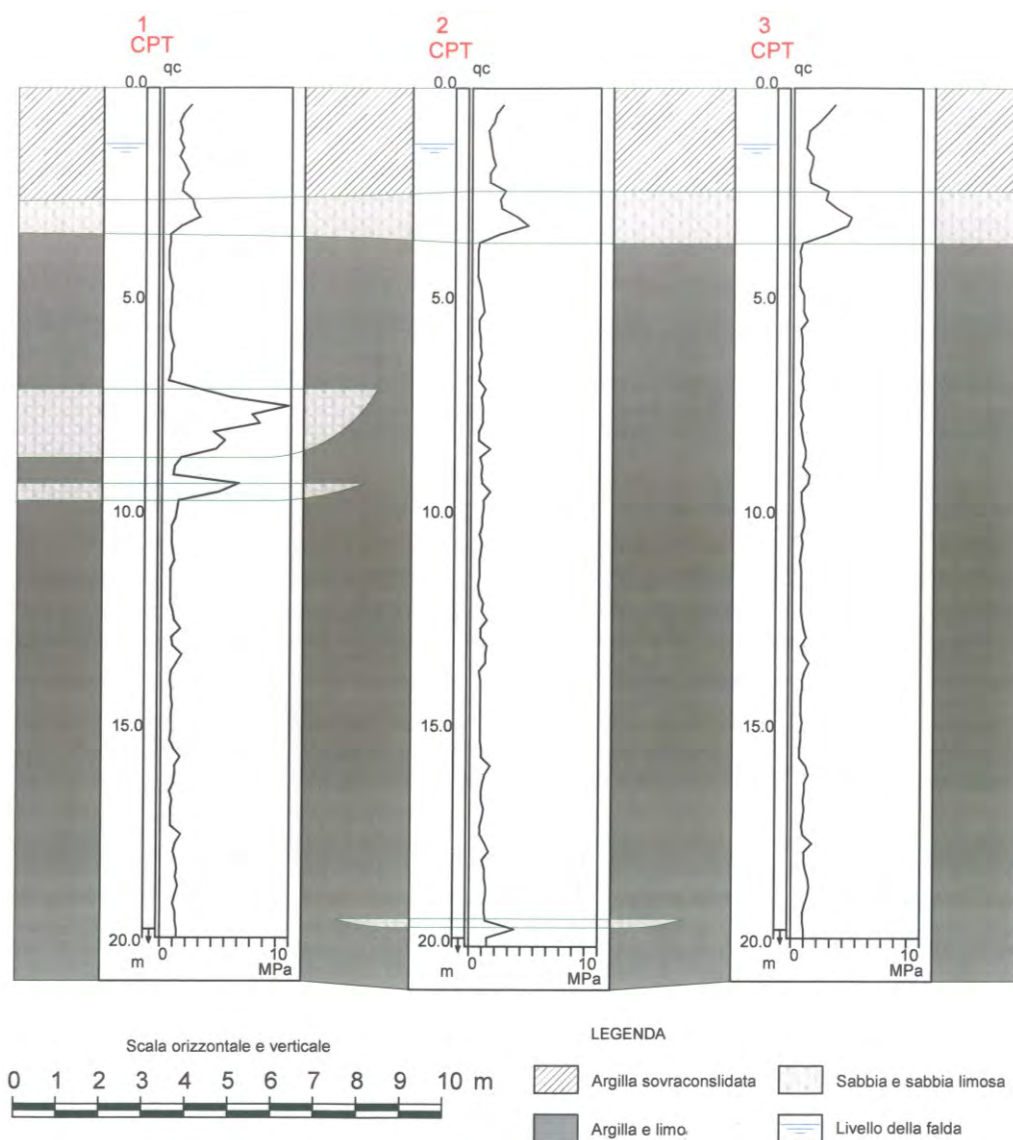


figura 10: interpretazioni CPT 3

## 4.1 Stratigrafia

In figura 11 propongo una sezione geologica tracciata interpolando i risultati delle prove eseguite.



*figura 11: sezione geologica*

Come si vede l'assetto è isotropo in senso orizzontale.

Tutto il terreno indagato è costituito da argilla e limo, con uno strato di sabbia e sabbia limosa intercalato tra - 2.5 e - 3.5 m di profondità.

L'unica anomalia è rappresentata da un altro strato di sabbia, intercettato solo da CPT 1 tra - 7.0 e - 9.5 m dal piano campagna.

Il tetto della prima falda, rilevato nei fori di sondaggio, si è attestato intorno a - 1.3 m dalla superficie.

## 4.2 Caratteristiche geomeccaniche

In figura 12 ho involuppato i diagrammi delle prove penetrometriche.

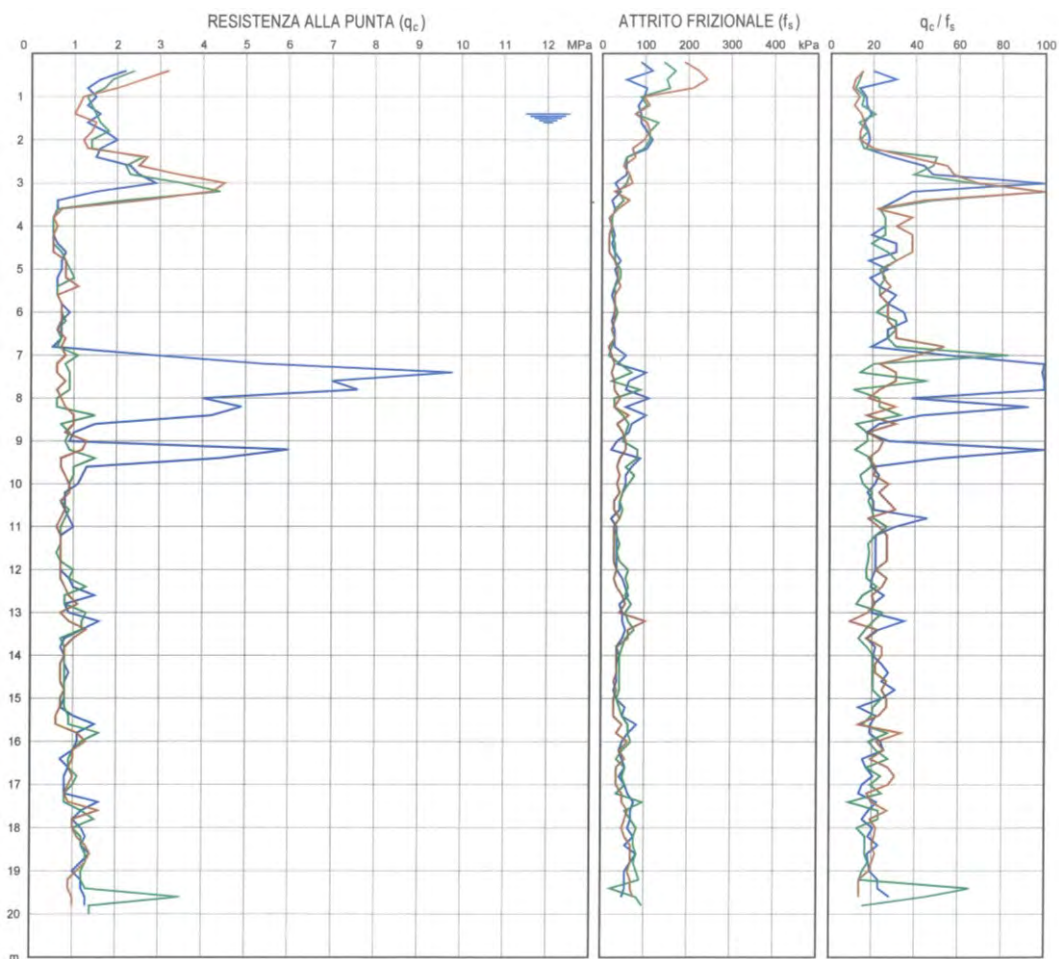


figura 12: involuppo diagrammi CPT

La buona sovrapposizione suggerisce un assetto omogeneo in senso trasversale anche sotto questo profilo.

La rarefazione degli strati sabbiosi li rende poco influenti sotto il profilo geomeccanico mentre di precipuo interesse sono le caratteristiche dei terreni coesivi che li comprendono.

### 4.2.1 Substrato argilloso - limoso

Nelle figure 13 e 14 ho involuppato i valori della coesione non-drenata  $c_u$  e dello stato di consolidazione, espresso dal parametro OCR.

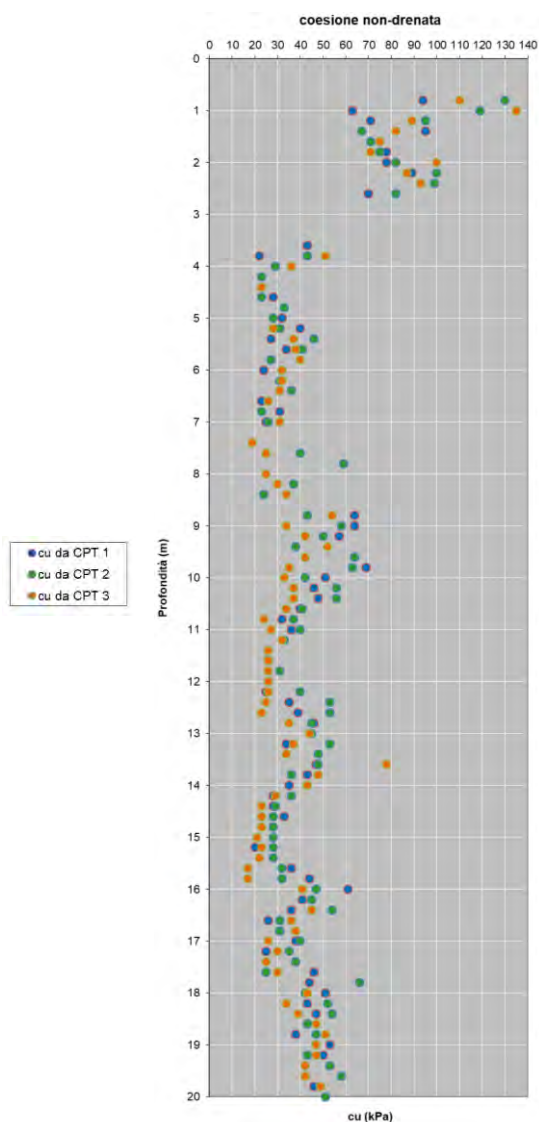


figura 13

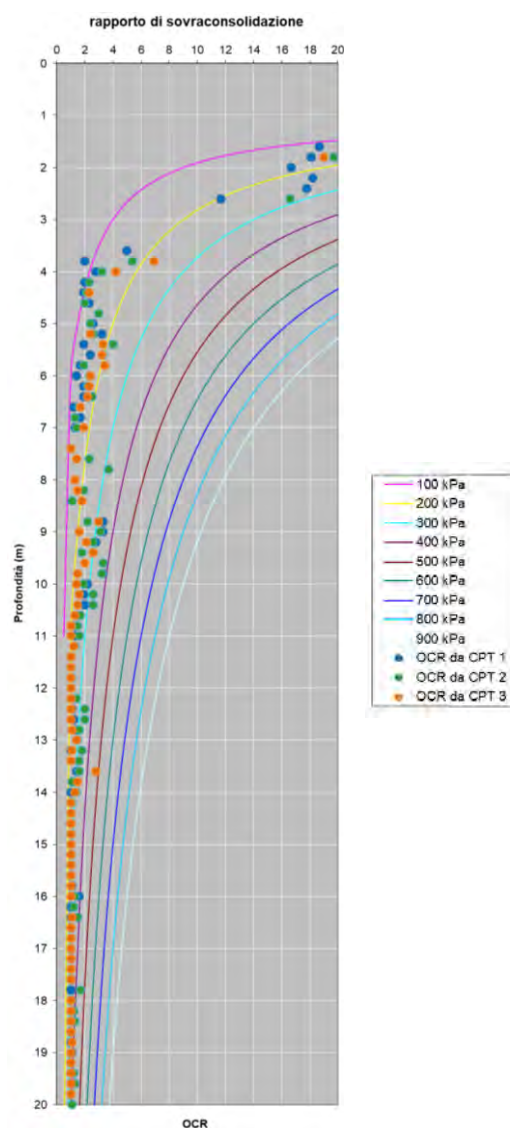


figura 14

Lo strato argilloso più superficiale, tra il piano campagna e - 2.5 m, risulta di media consistenza ( $60 \div 100$  kPa) e sovraconsolidato ( $15 < OCR < 20$ ).

Dall'elaborazione dei dati disponibili secondo il criterio del 5° percentile della media, trascurando il primo metro (che comprende 50 cm di terreno di riporto), si ricavano i seguenti valori:

n° dati: 24

media  $c_u = 82.5$  kPa

valore caratteristico  $c_{uk} = 78.5$  kPa

deviazione standard = 11.24 kPa



Gli altri parametri derivabili dalle misure e dall'esperienza sono:

rapporto di sovraconsolidazione **OCR = 15÷20**

rapporto di compressione **CR = 0.2**

rapporto di ricomprensione **RR = 0.02**

modulo **E = 5÷10 MPa**

rapporto di Poisson  **$\nu = 0.2$**

peso di volume  **$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$**

L'elevato stato di sovraconsolidazione superficiale, non può che essere ascrivibile all'essiccamento sin-sedimentario, giacché in questo tratto di Pianura Padana si devono escludere scarichi tensionali per erosione.

D'altra parte il materasso argilloso e limoso profondo, tra - 3.5 e - 20 m risulta tenero ( **$c_u = 20\div40 \text{ kPa}$** ), con rari livelli di media consistenza ( **$c_u = 40\div60 \text{ kPa}$** ).

Il terreno si presenta leggermente sovraconsolidato ( **$1.5 < \text{OCR} < 3.5$** ) fino a - 10 m e normalconsolidato (**OCR = 1**) più sotto.

Il trend decrescente della sovraconsolidazione fino alla sua scomparsa si spiega con l'incremento del tensione litostatica con la profondità, che annulla gli effetti degli antichi processi sin-sedimentari.

Gli altri parametri derivabili dalle misure e dall'esperienza sono:

rapporto di compressione **CR = 0.2**

rapporto di ricomprensione **RR = 0.02**

modulo **E = 2.5÷5 MPa**

rapporto di Poisson  **$\nu = 0.25$**

peso di volume  **$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$**

Al di là degli aspetti naturalistici, il tema della storia tensionale dei terreni riveste un interesse pratico; in effetti, laddove è sovraconsolidato il terreno risulta poco cedevole, sempre che le tensioni trasmesse al suolo non eccedano la soglia di precompressione.

Viceversa dove risulta leggermente sovraconsolidato o normalconsolidato sono da attendersi abbassamenti più o meno significativi, in ragione dell'incremento tensionale trasmesso.

#### 4.2.2 Interstrati sabbiosi

Si tratta di materiale da sciolto a compatto; si stima una densità relativa  **$D_r$**  compresa nell'intervallo 30÷60% e una resistenza al taglio a volume costante  **$\phi'_{cv} = 30^\circ$**  per  **$c' = 0$**  (Negussey et al, 1986).

Le sabbie si considerano normalconsolidate (**OCR = 1**), poichè risultano immuni dal fenomeno di essiccamento per desaturazione; i valori dei rapporti di compressione (**CR**) e di ricomprensione (**RR**) si stimano rispettivamente pari a **0.02** e **0.002**.



Il rapporto di Poisson  $\mu$  vale **0.2**.

Il peso di volume  $\gamma$  si valuta pari a **19 kN/m<sup>3</sup>**.

## 5 NOTE GEOLOGICO-TECNICHE

In casi simili, per le apparecchiature unipolari e i portali a barre, dove possibile il Progettista ha adottato fondazioni a platea (2 x 6 m per le prime e 6 x 13 m per i secondi), mentre per il cosiddetto “palo-gatto” ha fatto ricorso a un plinto di grandi dimensioni.

Riguardo alle platee, l’opportunità di sfruttare per quanto possibile le prestazioni dell’argilla sovraconsolidata superficiale e di evitare scavi in soggezione di falda, consigliano di limitare l’incastro a 1 m dal piano campagna.

La natura prevalentemente coesiva del sedime nel volume d’interesse geotecnico fa sì che la prestazione portante sia condizionata dalla resistenza a taglio in condizioni non-drenate, vale a dire dal parametro  $c_u$  per  $\phi = 0$ .

Considerate le geometrie degli appoggi, quale valore operativo di  $c_u$  si consiglia di adottare quanto risulta dall’elaborazione statistica dei dati tra - 1 e - 10 m, vale a dire:

n° dati: 96

media  $c_u = 47.16$  kPa

valore caratteristico  $c_{uk} = 43$  kPa

deviazione standard = 23.50 kPa

La tensione limite del masso interagente con una fondazione diretta è derivabile dalla relazione:

$$q_{ult} = N_c \cdot c_u + \gamma \cdot D \quad (\text{Terzaghi, 1943})$$

con:

$c_u$  = coesione non drenata,

$N_c$  = fattore adimensionale di portanza relativo alla coesione,

$\gamma$  = peso di volume del terreno,

$D$  = profondità di posa.

Assumendo:

$c_{uk} = 43$  kPa

$N_c = 5.14$

$\gamma = 10$  kN/m<sup>3</sup> (peso di volume immerso)

$D = 1.0$  m

si calcola:

$$q_{ult} = 5.14 \cdot 43 + 10 \cdot 1.0 \approx 231 \text{ kPa}$$

Applicando ai risultati un fattore di sicurezza  $R_3 = 2.3$  secondo l'Approccio 2 delle *Norme*, si ricava

$$q_{lim} = 231/2.3 \approx 100 \text{ kPa}$$

Nei casi analoghi il Progettista strutturale ha calcolato pressioni limite (SLU GEO) intorno a 40÷50 kPa, quindi il fattore di sicurezza Normativo è ampiamente rispettato.

Per le condizioni d'esercizio conviene verificare l'entità dei cedimenti indotti nel terreno, considerando un distribuito intorno a 30 kPa (SLE GEO).

A questo scopo torna utile un nostro codice di calcolo, scritto per risolvere casistiche complesse; esso considera un semispazio alla Boussinesq e la soluzione di Steinbrenner (1934) che risolve la tensione  $\Delta\sigma_z$  indotta alla profondità  $Z$  lungo la proiezione dello spigolo di una piastra rettangolare priva di rigidità caricata uniformemente  $\Delta\sigma$ .

In particolare, date le dimensioni in pianta  $L$  e  $B$ :

$$\Delta\sigma_z = \sigma/2\pi \cdot (\arctg(L \cdot B/Z/(L^2+B^2+Z^2)^{1/2} + (1/(L^2+Z^2) + 1/(B^2+Z^2)) \cdot L \cdot B \cdot Z/(L^2+B^2+Z^2)^{1/2})$$

Per calcolare la progressione di quel parametro sotto un punto diverso, viene in aiuto la soluzione di Ohde (1939), intesa a sovrapporre gli effetti di 4 riquadri con vertice comune e algebricamente equivalenti all'impronta complessiva.

Il cedimento  $\Delta h$  è calcolato per strati di 1 m con la classica formula della consolidazione:

$$\Delta h = h_0 \cdot (RR \cdot \log(\sigma'_p/\sigma'_{v0}) + CR \cdot \log(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v) / \sigma'_p))$$

$$\text{con } \sigma'_p = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

Intese flessibili le platee, nelle figure 15÷16 sono raccolti i risultati dei calcoli.

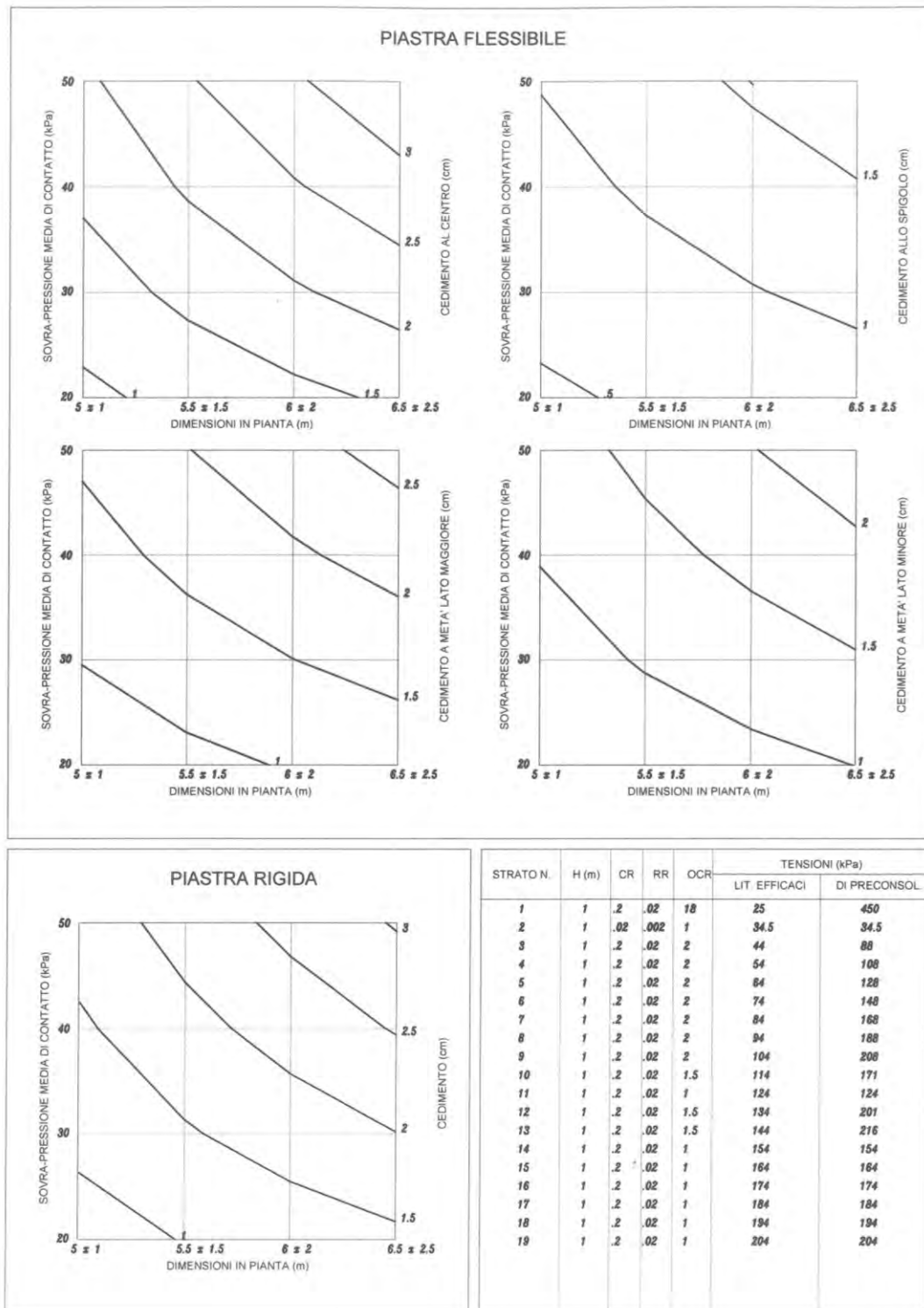


figura 15: cedimenti per platea di fondazione dei portali a barre (incastro - 1 m dal p.c.)

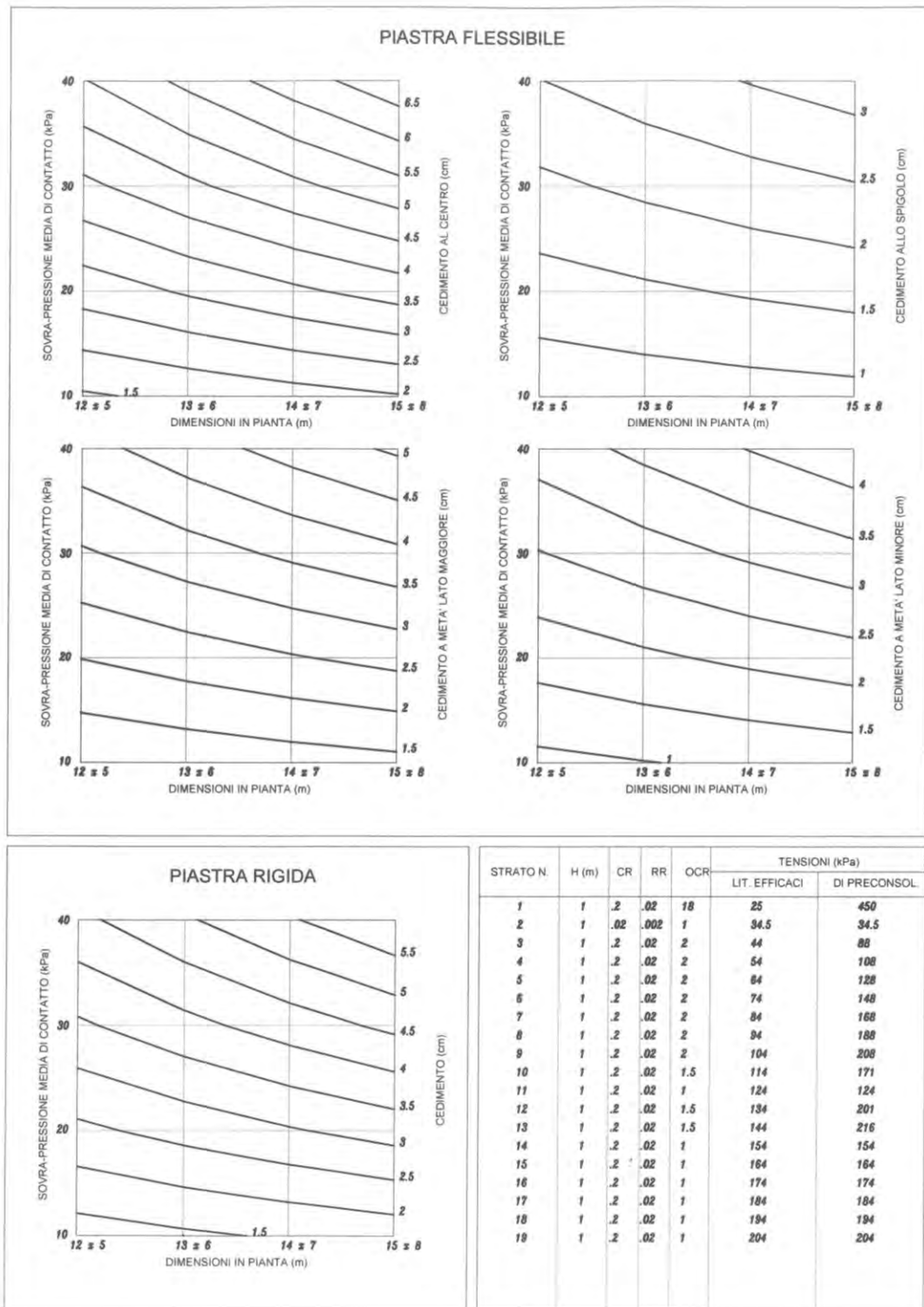


figura 16: cedimenti per platea di fondazione delle apparecchiature unipolari (incastro - 1 m dal p.c.)

I diagrammi si leggono interpolando la dimensione in pianta con la sovrappressione di contatto; il punto d'incontro segnala il cedimento atteso.

Nel caso delle fondazioni dei portali a barre, si ottiene una deformazione a vela contenuta (cedimento di 2 cm al centro e 1 cm ai bordi) e ammissibile.

Nel caso delle fondazioni delle apparecchiature unipolari, assunte anch'esse flessibili, si evince una deformata a vela più accentuata, con abbassamenti al centro intorno a 4.5 m (prossimi al limite ritenuto generalmente accettabile) e allo spigolo pari a 2 cm.

Ovviamente i differenziali andranno risolti in termini di rigidità strutturale.

Relativamente al plinto del “palo gatto”, in via preliminare il Progettista ha indicato una dimensione in pianta di 7.2 x 7.2 m con incastro a - 2.4 m dalla superficie.

In questo caso il sedime è costituito dallo strato sabbioso e limo-sabbioso superficiale ma nel volume d'interesse geotecnico prevalgono le alluvioni fini sottostanti.

In quest'ambito la tensione limite calcolata secondo le indicazioni di Terzaghi (1943) per fondazioni a pianta quadrata risulta:

$$q_{ult} = 1.3 \cdot N_c \cdot c_u + 1.2 \cdot \gamma \cdot D \quad (\text{Terzaghi, 1943})$$

Assumendo un valore operativo di  $c_{uk} = 33 \text{ kPa}$ , ricavato dall'elaborazione statistica dei dati tra - 2.4 e - 10 m, si calcola:

$$q_{ult} = 1.3 \cdot 5.14 \cdot 33 + 1.2 \cdot 10 \cdot 2.4 \approx 249 \text{ kPa}$$

Applicando ai risultati un fattore di sicurezza  $R_3 = 2.3$  secondo l'Approccio 2 delle *Norme*, si ricava

$$q_{lim} = 249/2.3 \approx 108 \text{ kPa}$$

Per un plinto di fondazione soggetto a carichi eccentrici tale limite andrebbe ricalcolato tenendo conto dell'eventuale riduzione dell'area di base, dovuta all'effetto dell'eccentricità.

Tali informazioni attualmente non sono disponibili, così come le tensioni di esercizio.

A questo proposito, in figura 17 propongo una stima dell'abbassamento assoluto per carico centrato e distribuito di una fondazione rigida, considerando sovrappressioni comprese tra 10 e 40 kPa.

Come si vede, per un plinto di lati 7.2 x 7.2 m si evince un cedimento assoluto nella norma ( $\leq 2.5 \text{ cm}$ ) per una sovrappressione di contatto intorno a 25 kPa.

Come noto, per costruzioni alte realizzate su terreni cedevoli, come nel caso in questione, riveste maggiore interesse il tema degli eventuali cedimenti differenziali dovuti all'eccentricità dei carichi e alle conseguenti rotazione rigida e inclinazione dell'opera.

Gli argomenti potranno essere affrontati una volta disponibili i dati geometrici e strutturali relativi.



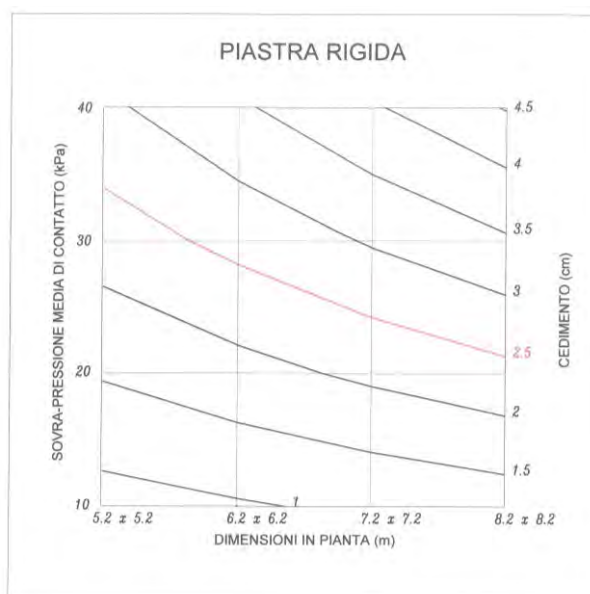


figura 17: cedimenti assoluti per plinto di fondazione del “palo gatto” (incastro - 2.4 m dal p.c.)

## 6 TEMATICHE SISMICHE

### 6.1 Pericolosità sismica di base

Il sottosuolo della Pianura Padana è caratterizzato dalle strutture sepolte dell'Appennino Settentrionale, sigillate da una coltre di sedimenti alluvionali che si è accumulata a partire dal Pleistocene.

Si tratta di un sistema di faglie inverse ed accavallamenti con piani di immersione verso SW e vergenza verso NE, che disegnano una struttura a pieghe sinclinali con interposte aree sinclinali.

Tali strutture sono imputabili alla subduzione della Zolla adriatica alla Catena appenninica, nell'ambito della collisione tra i margini di placca Africano ed Euroasiatico.

Nella letteratura specialistica sono note come “External Thrust Front” (E.T.F.) e quelle che si trovano nella Bassa Pianura più popolarmente come “Pieghe Ferraresi”.

Tale assetto profondo è ricostruito nella figura 18, secondo *Structural Model of Italy* del Consiglio Nazionale delle Ricerche, dove la località Tresigallo è indicata dal circoletto rosso.

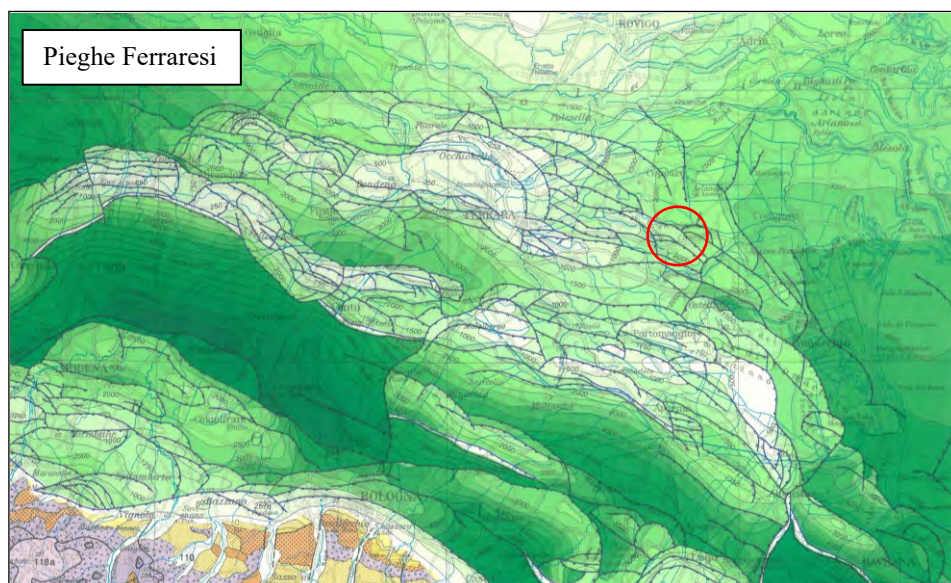


figura 18

Le linee blu contraddistinguono le principali faglie e i sovrascorrimenti mentre le varie tonalità di verde indicano la soggiacenza del basamento rigido.

Il Comune di Tresignana si trova sul margine esterno delle Pieghe ferraresi, in un settore caratterizzato da una sismicità medio-bassa, grazie anche all'approfondimento del cosiddetto "bedrock sismico", che qui si trova a profondità comprese tra - 250 e - 350 metri (*Sintema Emiliano-Romagnolo superiore*).

A conferma di ciò, è ridotto l'elenco dei principali terremoti per un intorno di 30 km dal sito in esame, raccolti nello specifico "*Catalogo parametrico*" dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ed estratti in tabella 1.

Anno	Località	Latitudine	Longitudine	Magnitudo
1234	FERRARA	44.836	11.618	5.17
1285	FERRARA	44.836	11.618	5.03
1410	FERRARA	44.836	11.618	5.03
1425	FERRARA SUD	44.833	11.667	4.83
1483	FERRARA	44.836	11.618	4.63
1508	FERRARA SUD	44.833	11.667	4.83
1570	Ferrara	44.820	11.630	5.48
1624	Argenta	44.650	11.850	5.43
1695	FERRARA	44.836	11.618	4.63
1743	FERRARA	44.836	11.618	5.03
1787	Ferrara	44.830	11.620	4.63
1796	Emilia orientale	44.620	11.670	5.63
1895	COMACCHIO	44.684	11.987	4.83
1895	PAPOZZE	45.000	12.000	4.83
1895	COMACCHIO	44.700	12.183	4.83
1898	Romagna settent.	44.650	11.770	5.03
1956	ARGENTA	44.919	11.899	4.98
1967	BASSA PADANA	44.604	11.997	5.36

tabella 1

Come si vede, il sisma che ha suscitato i maggiori effetti nella storia millenaria di questo territorio risale al 1570, con epicentro nella città di Ferrara, che dista circa 20 km.

La Magnitudo momento associata a questo evento è pari a 5.48.

A conferma della sismicità bassa anche se non trascurabile, si sottolinea che il Comune non è stato compreso in alcuna delle zone sismogenetiche distinte nel territorio italiano (zonazione ZS9 del 2012).

D'altra parte gli studi più recenti collocano il territorio comunale in prossimità della sorgente sismogenetica composta ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino (figura 19), che secondo il DISS Working Group (2015) è in grado di generare terremoti di Magnitudo  $M = 5.5$  con ipocentro a profondità comprese tra 1 e 8 km

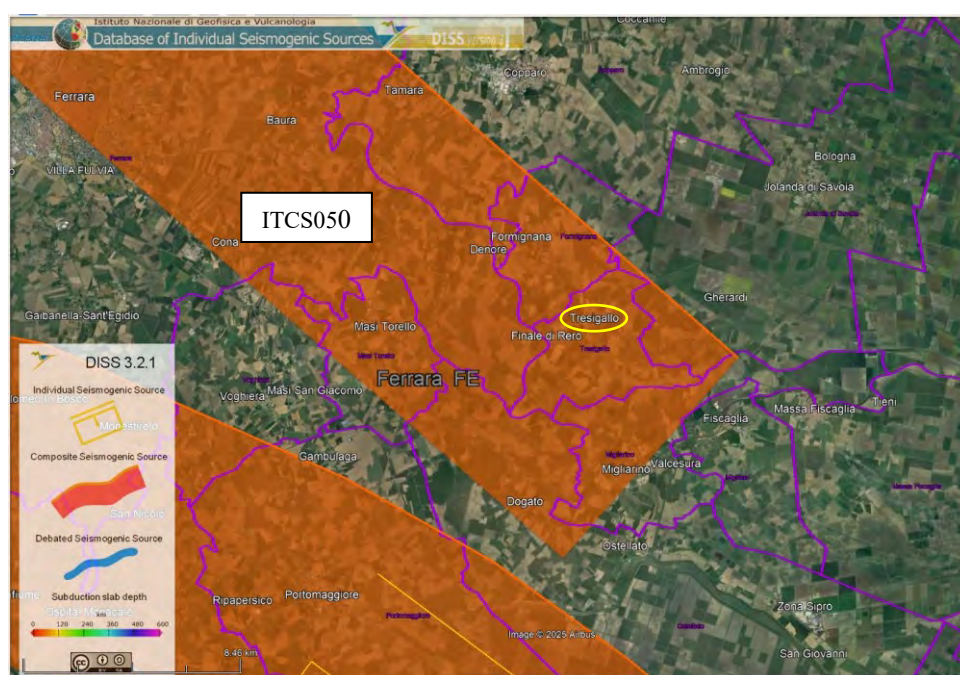


figura 19

In ordine agli eventi attesi in caso di sisma, dagli studi di Microzonazione sismica dell'ex-Comune di Tresigallo (ora compreso in quello di Tresignana dopo la fusione con il Comune di Formignana) si evince solamente l'eventuale amplificazione stratigrafica per caratteristiche litologiche.

Riguardo alle accelerazioni al suolo prevedibili, secondo la “*Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale*”, elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, i valori di picco al suolo  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente ad un tempo di ritorno di 475 anni) nell'area d'interesse variano tra 0.100 g e 0.125 g (vedi figura 20).



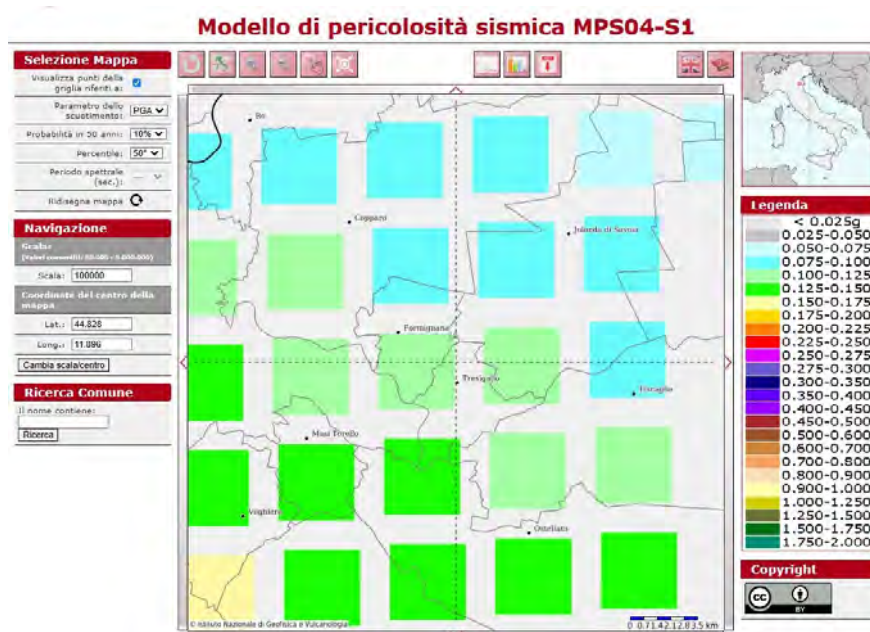


figura 20

Dal suddetto Studio di Microzonazione sismica comunale di Livello 3, datato 2018, si evince che nel territorio in cui ricade la Cabina Primaria il rischio di liquefazione dei terreni incoerenti e saturi dovrebbe essere basso o nullo.

Specifiche valutazioni in merito sono argomento del paragrafo 8.1.1.

## 7 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Con “risposta sismica locale” s’intende l’azione sismica che emerge “in superficie” a seguito di modifiche di ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

Le *NTC 2018* consentono due tipi di approcci: uno semplificato e uno rigoroso.

Riguardo all’approccio semplificato, che s’intende adottare, la Norma ne consente l’applicabilità laddove le caratteristiche meccaniche dei terreni migliorino con la profondità e le condizioni stratigrafiche siano riconducibili ad una delle categorie definite nella Tab.3.2.II delle suddette *Norme*.

Ai sensi della normativa, la “categoria di sottosuolo” va stabilita sulla base del profilo della velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ .

Laddove la profondità del substrato sismico (inteso come quella formazione costituita da terreno rigido caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s) risulti superiore a 30 m, come nel caso in questione,  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ .

A questo scopo ho diretto una prova geofisica superficiale, tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), alla quale ho aggiunto un test HVS

(Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per cercare di stabilire le eventuali frequenze naturali di vibrazione del terreno, alle quali il moto sismico può essere amplificato.

L'ubicazione delle due prove è argomento di figura 21; in figura 22 aggiungo una ripresa fotografica dello stendimento MASW.



*figura 21: ubicazione prove sismiche (linea rossa = MASW - punto bianco = test HVSR)*



*figura 22: fotografia dello stendimento MASW*

La metodica e i risultati sono nell'allegata relazione specialistica (2), a firma del Dott. Marco Ugolotti dello Studio Me.Mo. di Monticelli Terme (PR), a cui è stata affidata l'esecuzione materiale dei test.



Nelle figure 23 e 24 riporto il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  registrate e le curve di dispersione.

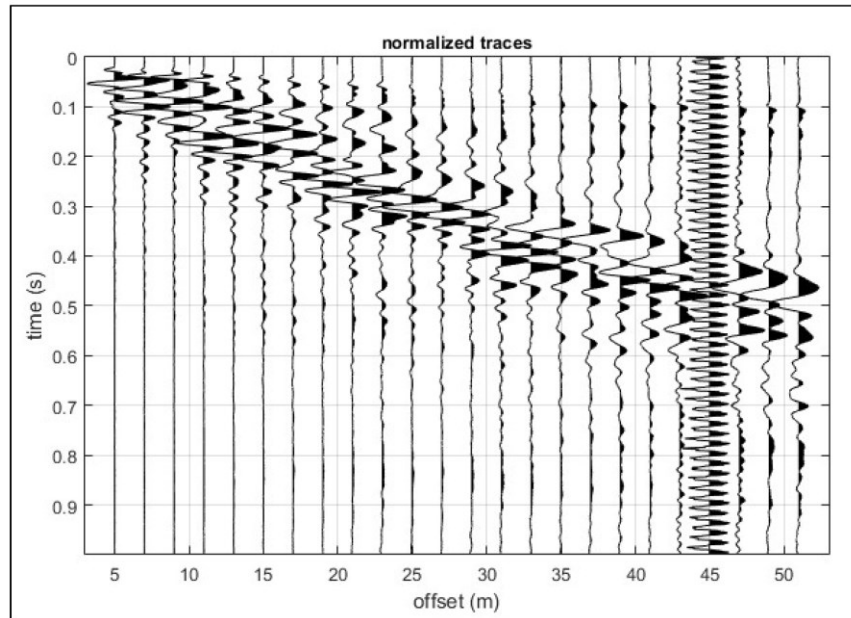


figura 23

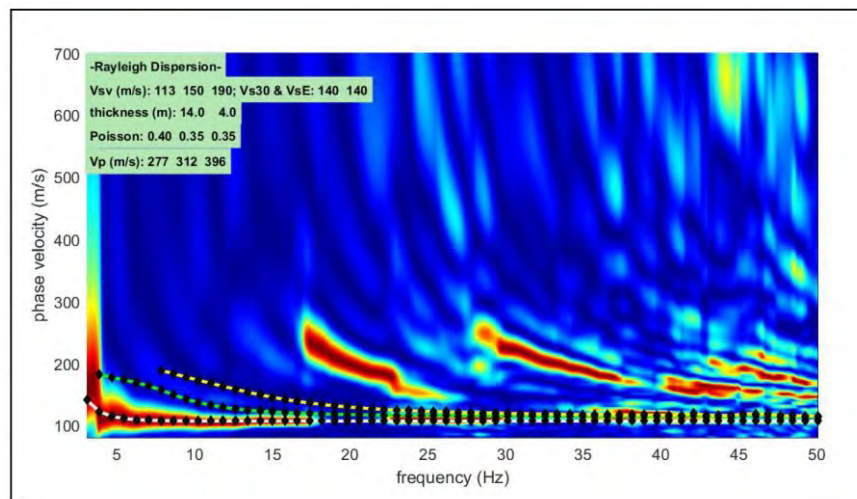


figura 24

In sintesi, le misure  $V_s$  caratterizzanti il substrato sono trascritte nella tabella 2 seguente.

Profondità [m]	Spessore [m]	V <sub>s</sub> [m/s]
0.00÷14.00	14.00	113
14.00÷18.00	4.00	150
>18.00	/	190

tabella 2

Nella figura 25 ho diagrammato tali valori, sovrapponendoli a quelli ricavabili dai dati CPT sulla scorta dell'interpretazione di Mayne & Rix, 1993.

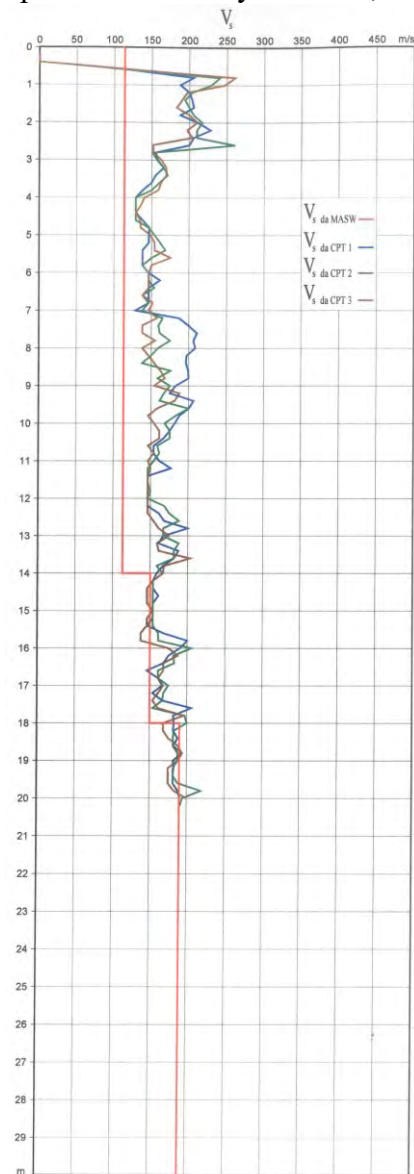


figura 25

Come si vede, i dati delle misure dirette della prova MASW sono di poco inferiori (e quindi più cautelativi) a quelli ricavati indirettamente dalle misure CPT, almeno fino a - 14 m; più sotto c'è invece una buona correlazione.

In ogni caso il sito ricade nella **Categoria stratigrafica D**; in effetti la media pesata dei valori secondo le disposizioni normative, considerando un piano di sedime delle fondazioni a - 1 m dalla superficie, fa stimare:

$$V_{s(30)} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i / V_{Si}) = 143 \text{ m/s}$$

Relativamente all'amplificazione del segnale sismico, da risolvere in termini d'accelerazione, note:

- le coordinate geografiche: **Latitudine 44.8275°, Longitudine 11.8962°**,
- la categoria di sottosuolo: **D**,
- la categoria topografica : **T1**,
- la classe d'uso dei manufatti: **IV**,

le *Norme* offrono la chiave per determinare i parametri da mettere in conto (figura 26).

Classe d'uso:	4	Categoria sottosuolo:	D	
Vita nominale:	50	Categoria topografica:	T1	
Latitudine:	44.8275	Smorzamento viscoso % $\xi$ :	5	
Longitudine:	11.8962			
	SLO 81	1	Fattori di riduzione	
P <sub>VR</sub> %	SLD 63	1		
	SLV 10	1		
	SLC 5	1		

Numero decimali per : T<sub>R</sub> (anni)

a<sub>g</sub> (g)

F<sub>0</sub>

T<sub>C</sub>\* (s)

0
4
3
3

Punti della maglia di riferimento utilizzati

	ID	Longitudine	Latitudine	Distanza (km)
Primo	15407	11.94	44.825	3.47
Secondo	15406	11.870	44.824	2.1
Terzo	15184	11.869	44.874	5.6
Quarto	15185	11.939	44.875	6.27

Note:

Risultati

	T <sub>R</sub> (anni)	a <sub>g</sub> (g)	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> * (s)
Stato limite operativo	60	0.0433	2.543	0.284
Stato limite di danno	101	0.0536	2.531	0.296
Stato limite di salvaguardia della vita	949	0.1307	2.597	0.299
Stato limite di collasso	1950	0.1671	2.580	0.309

Spostamenti e velocità orizzontali del terreno

	T <sub>R</sub> (anni)	d <sub>g</sub> (cm)	V <sub>g</sub> (cm/s)
SLO	60	2.30	0.83
SLD	101	2.97	1.05
SLV	949	8.53	2.57
SLC	1950	11.54	3.26

	S <sub>s</sub>	S <sub>t</sub>	η
SLO	1.80	1.00	1.00
SLD	1.80	1.00	1.00
SLV	1.80	1.00	1.00
SLC	1.75	1.00	1.00

figura 26

Gli spettri di accelerazione orizzontale e verticale in campo libero, calcolati per un fattore di comportamento unitario e smorzamento viscoso convenzionale pari al (5%) sono nelle figure 27÷28.

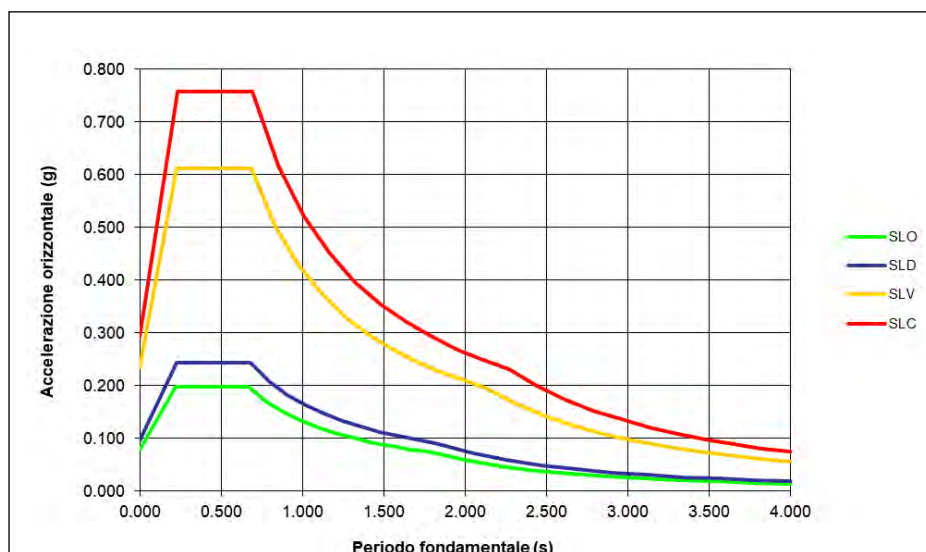


figura 27

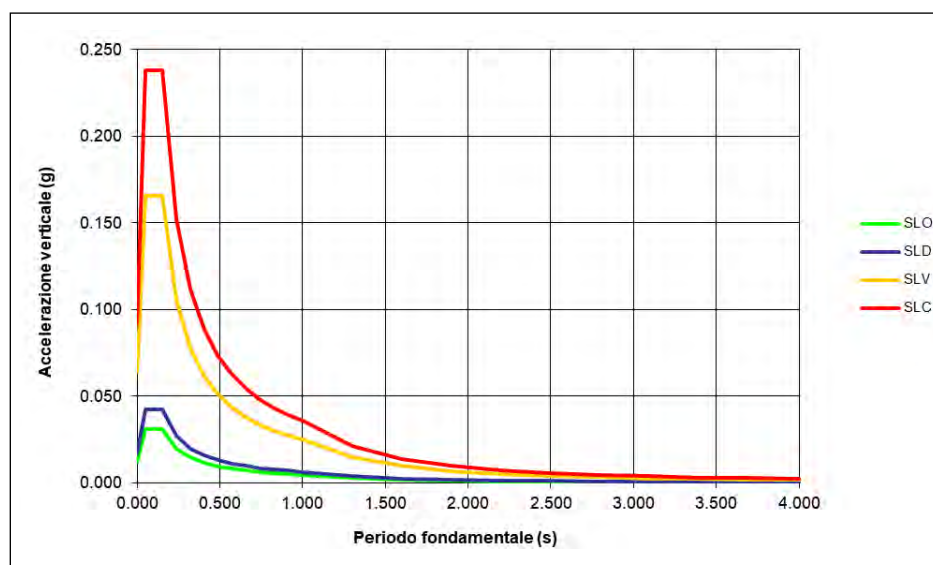


figura 28

La tabella 3 mostra il quadro completo dei risultati.

	Accelerazione Orizzontale								Accelerazione Verticale							
	SLO		SLD		SLV		SLC		SLO		SLD		SLV		SLC	
	T (s)	Se (g)	T (s)	Se (g)	T (s)	Se (g)	T (s)	Se (g)	T (s)	Sve (g)	T (s)	Sve (g)	T (s)	Sve (g)	T (s)	Sve (g)
T <sub>0</sub>	0.000	0.078	0.000	0.096	0.000	0.235	0.000	0.293	0.000	0.012	0.000	0.017	0.000	0.064	0.000	0.092
T <sub>B</sub>	0.222	0.198	0.227	0.244	0.228	0.611	0.231	0.756	0.050	0.031	0.050	0.042	0.050	0.166	0.050	0.238
T <sub>C</sub>	0.667	0.198	0.680	0.244	0.684	0.611	0.694	0.756	0.150	0.031	0.150	0.042	0.150	0.166	0.150	0.238
	0.777	0.170	0.793	0.209	0.828	0.505	0.852	0.616	0.235	0.020	0.235	0.027	0.235	0.106	0.235	0.152
	0.888	0.149	0.907	0.183	0.971	0.430	1.009	0.520	0.320	0.015	0.320	0.020	0.320	0.078	0.320	0.112
	0.999	0.132	1.020	0.163	1.115	0.375	1.167	0.450	0.405	0.011	0.405	0.016	0.405	0.061	0.405	0.088
	1.109	0.119	1.133	0.146	1.259	0.332	1.324	0.396	0.490	0.009	0.490	0.013	0.490	0.051	0.490	0.073
	1.220	0.108	1.247	0.133	1.403	0.298	1.481	0.354	0.575	0.008	0.575	0.011	0.575	0.043	0.575	0.062
	1.331	0.099	1.360	0.122	1.547	0.270	1.639	0.320	0.660	0.007	0.660	0.010	0.660	0.038	0.660	0.054
	1.441	0.092	1.474	0.113	1.691	0.247	1.796	0.292	0.745	0.006	0.745	0.009	0.745	0.033	0.745	0.048
	1.552	0.085	1.587	0.105	1.835	0.228	1.954	0.269	0.830	0.006	0.830	0.008	0.830	0.030	0.830	0.043
	1.663	0.080	1.701	0.098	1.979	0.211	2.111	0.249	0.915	0.005	0.915	0.007	0.915	0.027	0.915	0.039
	1.773	0.075	1.814	0.091	2.123	0.197	2.268	0.231	1.000	0.005	1.000	0.006	1.000	0.025	1.000	0.036
T <sub>D</sub>	1.773	0.075	1.814	0.091	2.123	0.197	2.268	0.231	1.000	0.005	1.000	0.006	1.000	0.025	1.000	0.036
	1.996	0.059	2.033	0.073	2.310	0.166	2.442	0.200	1.300	0.003	1.300	0.004	1.300	0.015	1.300	0.021
	2.219	0.048	2.251	0.059	2.498	0.142	2.615	0.174	1.600	0.002	1.600	0.002	1.600	0.010	1.600	0.014
	2.441	0.039	2.470	0.049	2.686	0.123	2.788	0.153	1.900	0.001	1.900	0.002	1.900	0.007	1.900	0.010
	2.664	0.033	2.689	0.042	2.874	0.107	2.961	0.136	2.200	0.001	2.200	0.001	2.200	0.005	2.200	0.007
	2.887	0.028	2.907	0.036	3.061	0.095	3.134	0.121	2.500	0.001	2.500	0.001	2.500	0.004	2.500	0.006
	3.109	0.024	3.126	0.031	3.249	0.084	3.307	0.109	2.800	0.001	2.800	0.001	2.800	0.003	2.800	0.005
	3.332	0.021	3.344	0.027	3.437	0.075	3.481	0.098	3.100	0.000	3.100	0.001	3.100	0.003	3.100	0.004
	3.555	0.019	3.563	0.024	3.625	0.067	3.654	0.089	3.400	0.000	3.400	0.001	3.400	0.002	3.400	0.003
	3.777	0.016	3.781	0.021	3.812	0.061	3.827	0.081	3.700	0.000	3.700	0.000	3.700	0.002	3.700	0.003
	4.000	0.015	4.000	0.019	4.000	0.055	4.000	0.074	4.000	0.000	4.000	0.000	4.000	0.002	4.000	0.002
4	4.000	0.015	4.000	0.019	4.000	0.055	4.000	0.074	4.000	0.000	4.000	0.000	4.000	0.002	4.000	0.002

tabella 3

Dunque l'accelerazione orizzontale per la condizione limite di *Salvaguardia della Vita* (SLV) vale 0.235 g.

## 7.1 Risultati del test HVSR

Riguardo alle frequenze naturali del terreno, dal rapporto tra gli spettri di frequenza orizzontale e verticale (H/V) si ottiene il grafico di figura 29, in cui spiccano le frequenze in cui si hanno i maggiori effetti amplificativi.

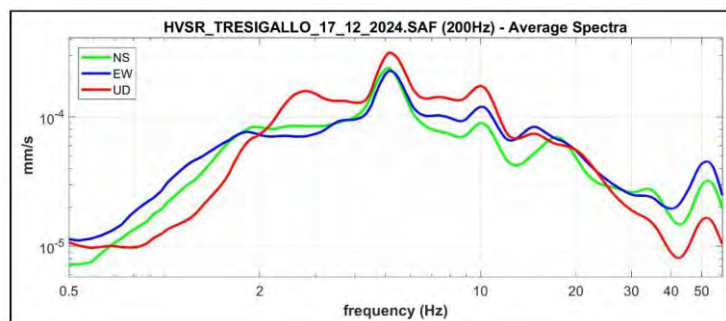


figura 29



Dall'elaborazione dei dati si evince un picco d'amplificazione di 2.98 alla frequenza di 1.17 Hz (figura 30).

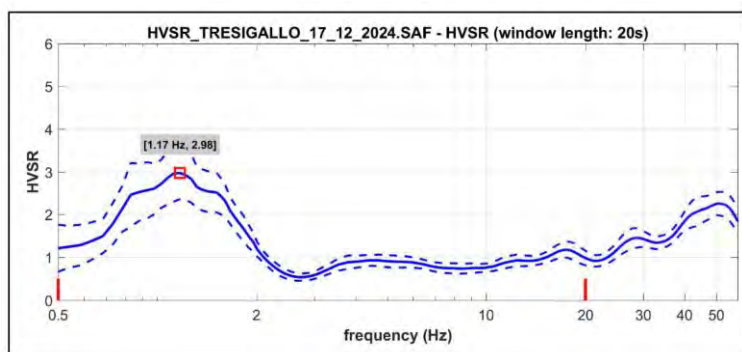


figura 30

## 8 EFFETTI CO-SISMICI

### 8.1.1 Verifica del rischio liquefazione

Disponendo dei dati CPT, la via è offerta da Robertson e Wride, 1977, con l'accortezza di ridurre opportunamente  $f_s$  per adeguare i valori ottenuti dal puntale meccanico a quelli relativi al puntale elettrico utilizzato dagli Autori.

Nel caso specifico le misure  $f_s$  sono state dimezzate (assunzione, questa, verosimilmente conservativa), si è imposta la Magnitudo 5.5 (massima per le zone sismogenetiche circostanti) e l'accelerazione locale al suolo media calcolata per lo SLV (0.235 g).

Rimandando le relative descrizioni alla bibliografia specialistica, espongo i risultati nelle figure 31÷33.

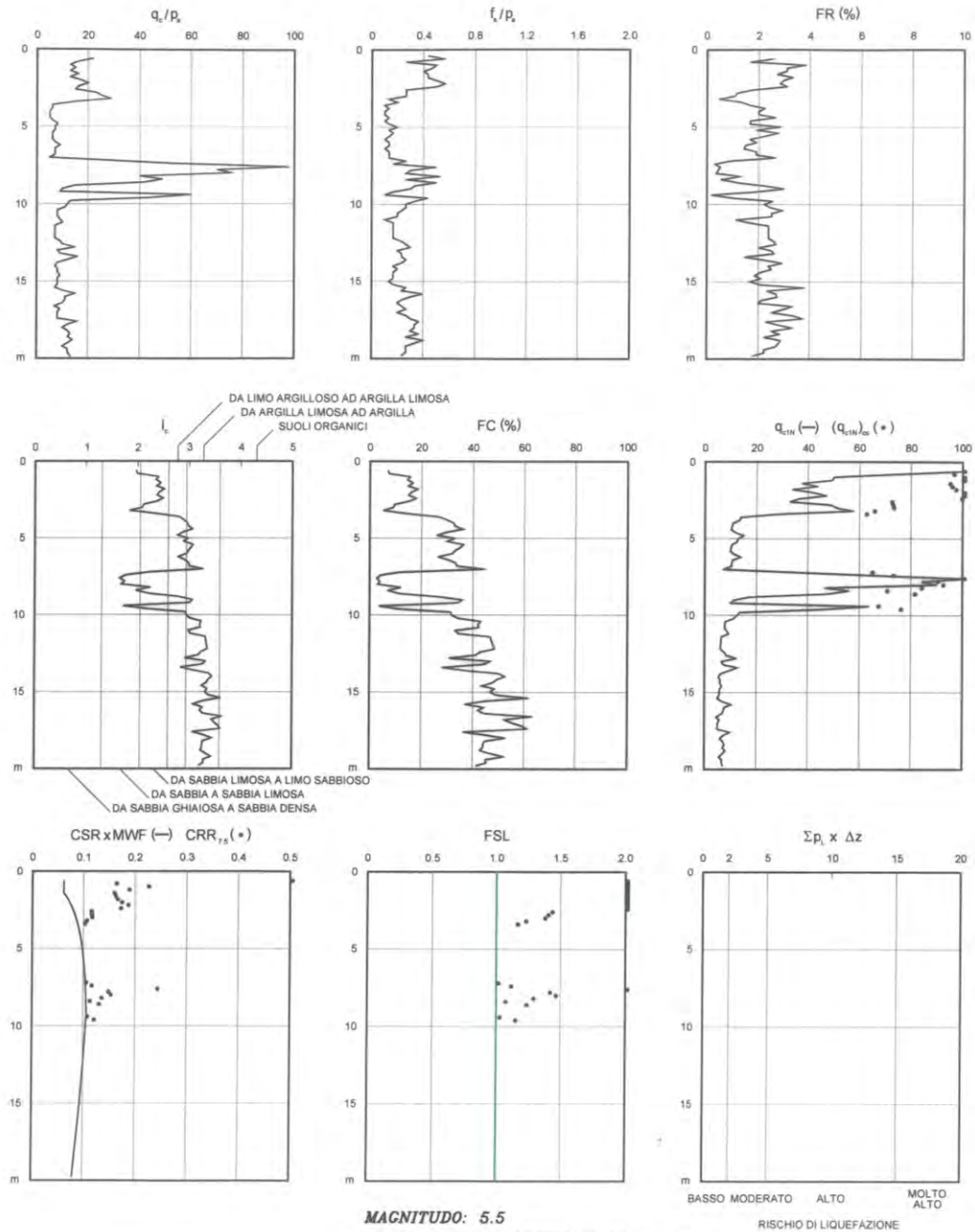
In ogni elaborato risultano di particolare interesse il diagramma iniziale (in alto a sinistra), che compendia i dati penetrometrici registrati, e quello finale (in basso a destra), che riporta gli indici del potenziale di liquefazione ( $I_L$ ).

Facendo riferimento alle seguenti classi di pericolosità (Sommez, 2003)

$I_L = 0$	Non liquefacibili ( $F_L \geq 1.2$ )
$0 < I_L \leq 2$	Potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto
$I_L > 15$	Potenziale molto alto

nel caso in questione si evince un rischio da nullo ( $I_L = 0$ ) a estremamente basso ( $I_L = 0.24$  in CPT 2 fino a 7 m di profondità).

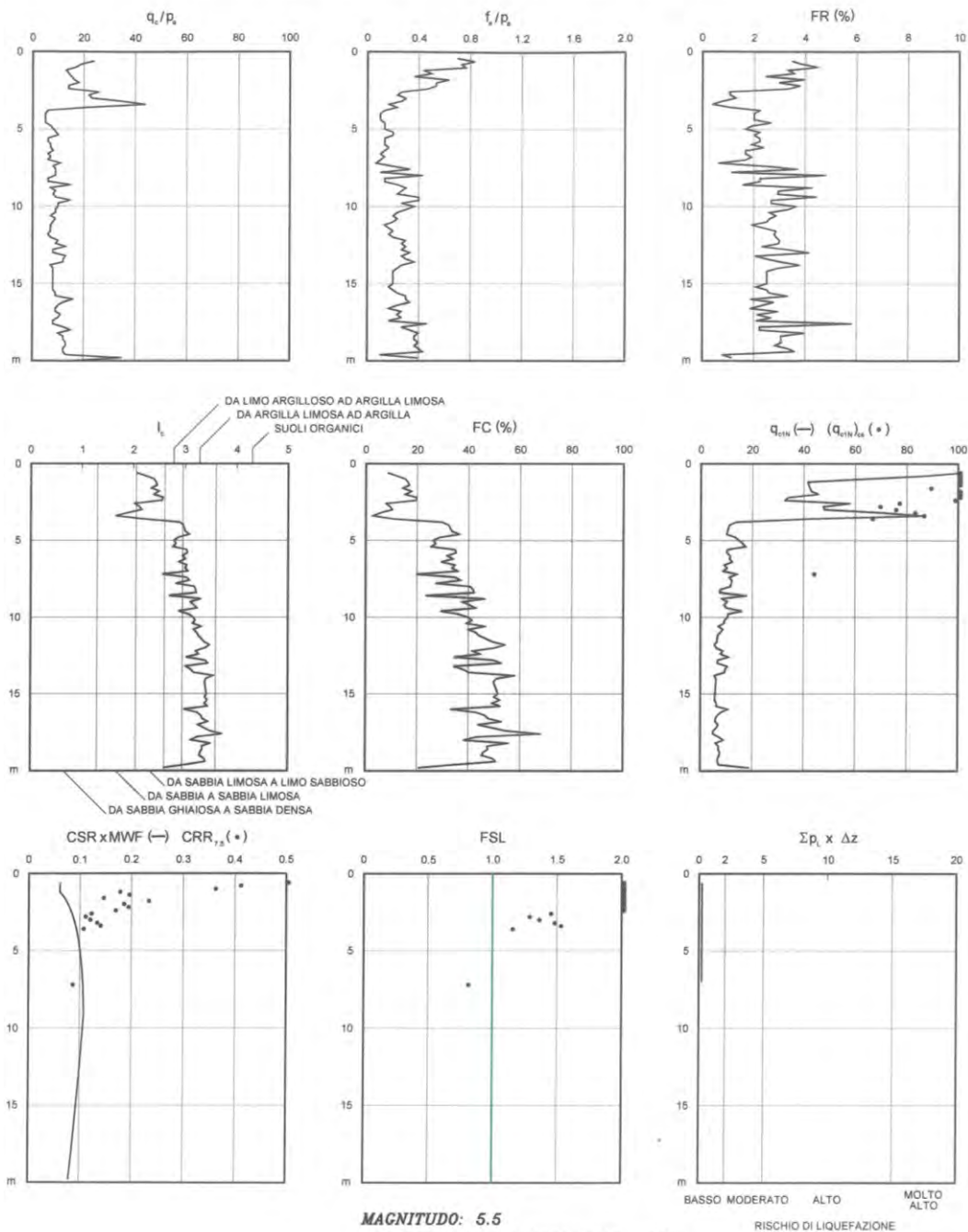
RISCHIO DI LIQUEFAZIONE (Robertson & Wride, 1997 - Iwasaki et al., 1982)



**MAGNITUDO: 5.5**  
**ACCELERAZIONE ORIZZONTALE: .235g**  
**RIFERIMENTO: CPT1**  
**LOCALITA': Tresigallo (FE)**  
**CANTIERE: Cabina Primaria di Tresigallo**

figura 31

RISCHIO DI LIQUEFAZIONE (Robertson & Wride, 1997 - Iwasaki et al., 1982)



**MAGNITUDO: 5.5**

**ACCELERAZIONE ORIZZONTALE: .235g**

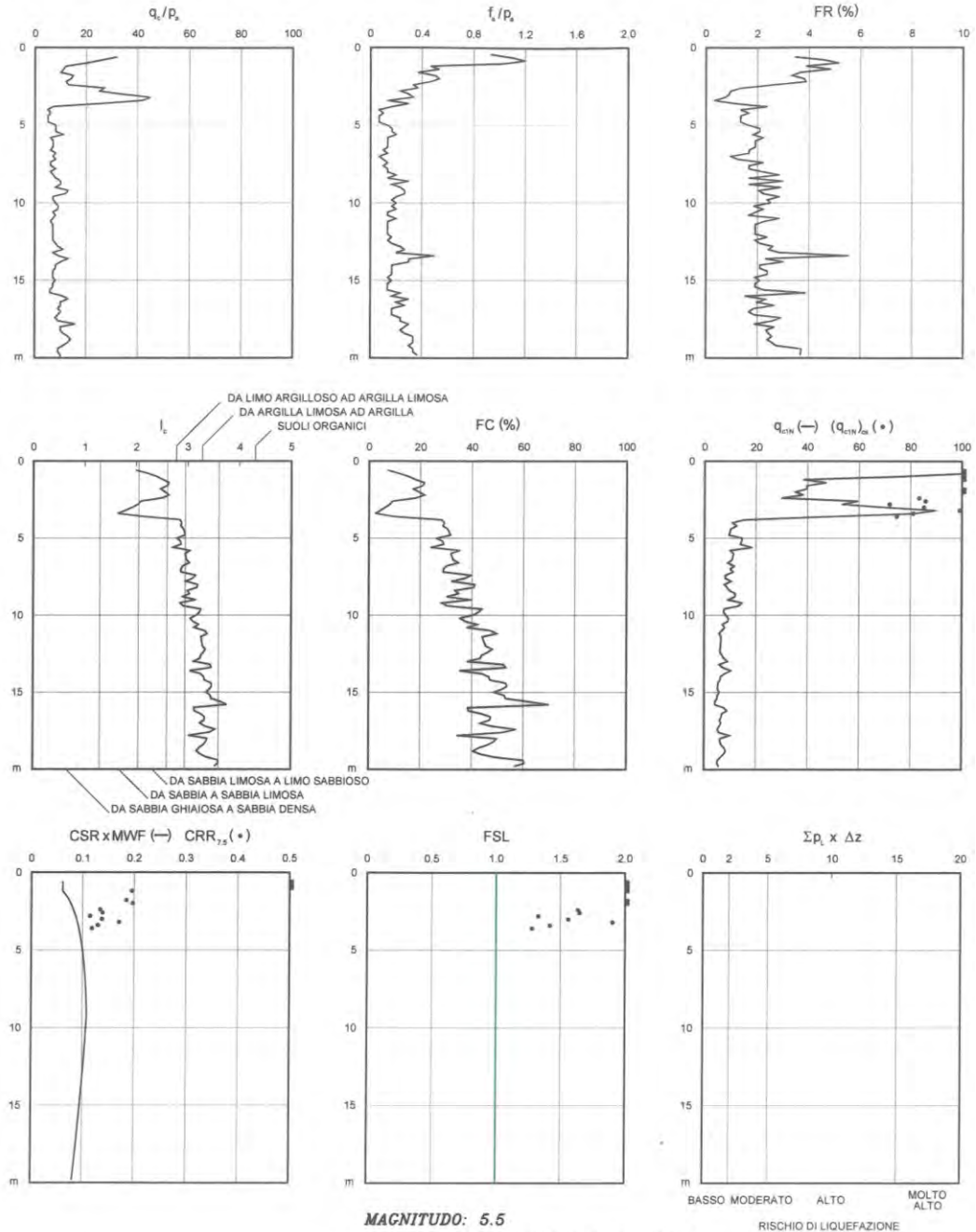
**RIFERIMENTO: CPT2**

**LOCALITA': Tresigallo (FE)**

**CANTIERE: Cabina Primaria di Tresigallo**

figura 32

RISCHIO DI LIQUEFAZIONE (Robertson & Wride, 1997 - Iwasaki et al., 1982)



MAGNITUDO: 5.5  
ACCELERAZIONE ORIZZONTALE: .235g  
RIFERIMENTO: CPT3  
LOCALITA': Tresigallo (FE)  
CANTIERE: Cabina Primaria di Tresigallo

figura 33





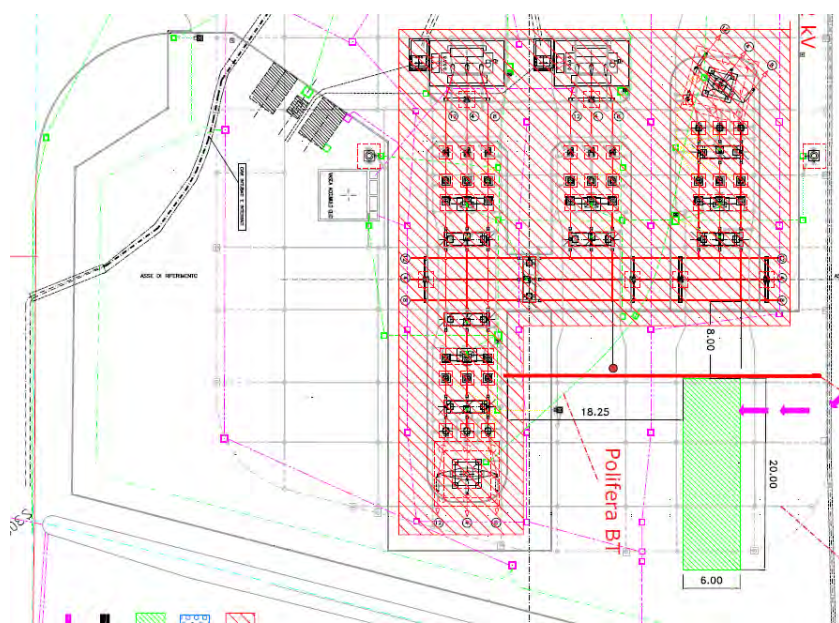
## **ALLEGATO 1**

Report prospezione con georadar





PROSPEZIONE GEORADAR FINALIZZATA ALL'INDIVIDUAZIONE DI SOTTOSERVIZI  
PROPEDEUTICA ALL'ESECUZIONE DI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE ALL'INTERNO  
DELLA CENTRALE ELETTRICA ENEL A TRESIGALLO (FE)



RAPPORTO LAVORI INDAGINI GEORADAR



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

*Committente*

**GEOLOG Studio Geologi Associati**  
Via Emilia all'Angelo 14  
42124 Reggio Emilia

CODICE	DATA	REV.	REDATTO	VERIFICATO
GE_R76_24	18/12/2024	1	DOTT. GEOL. DIEGO PERACCINI	ING. GIUSEPPE MAINARDI

## *Indice*

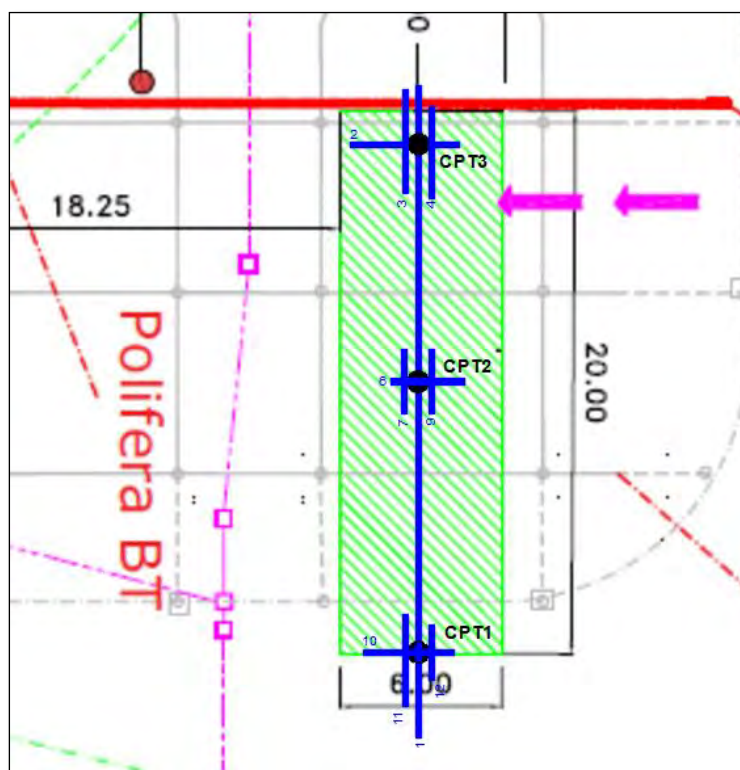
1	INDICAZIONI GENERALI .....	2
2	METODO GEORADAR AD IMPULSI ELETTROMAGNETICI (GPR) .....	3
3	MODALITÀ ESECUTIVE DELLA PROSPEZIONE GEORADAR.....	7
4	ESITO DELL'INDAGINE GEORADAR.....	8

## 1 INDICAZIONI GENERALI

Su incarico dello studio GEOLOG è stata effettuata una prospezione geofisica con metodologia continua e non distruttiva del tipo georadar (GPR) per individuare la corretta ubicazione di 3 punti di prove penetrometriche statiche (CPT) all'interno della centrale elettrica Enel a Tresigallo provincia di Ferrara.

L'obiettivo dell'indagine georadar è quello di diminuire il rischio di arrecare danni ai sottoservizi presenti nelle aree oggetto di studio.

In Figura 1 viene mostrato dove sono state eseguite le linee georadar e il posizionamento indicativo delle prove penetrometriche.



*Figura 1 – Linee georadar eseguite e posizionamento indicativo delle prove penetrometriche*

Di seguito verranno descritte in dettaglio le modalità operative e i risultati ottenuti per le indagini sopra elencate.

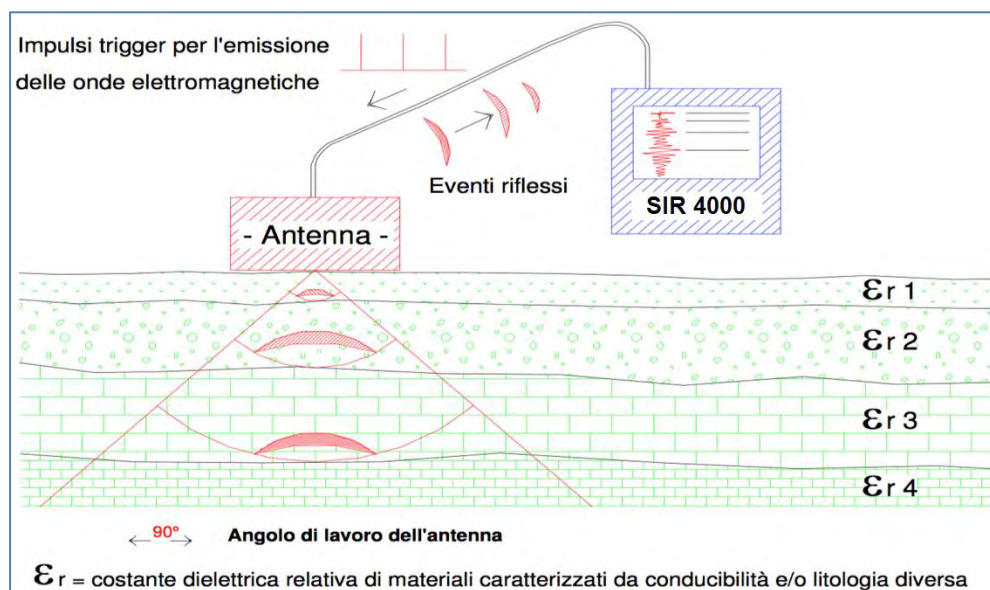
## 2 METODO GEORADAR AD IMPULSI ELETTROMAGNETICI (GPR)

Il metodo georadar è basato sul principio della propagazione di impulsi elettromagnetici nei materiali e sulla loro riflessione in corrispondenza delle superfici di discontinuità dovute a variazioni di permittività dielettrica che generalmente, in questo contesto, è rappresentata dalla costante dielettrica dei materiali investigati.

Il principio di funzionamento delle strumentazioni georadar utilizzate (SIR-4000 prodotto dalla GSSI-USA) può essere sinteticamente descritto nel modo seguente (*Figura 2*): l'acquisizione dei dati avviene facendo scorrere un'antenna ricetrasmittente lentamente sulla superficie del terreno da investigare; nell'unità centrale sono generati dei segnali ad intervalli regolari che servono a sollecitare i circuiti elettronici dell'antenna trasmittente, da questa sono irradiati degli impulsi elettromagnetici che, propagandosi attraverso i materiali, vengono riflessi in corrispondenza delle interfacce di entità dielettriche diverse.

Gli eventi riflessi sono captati dall'elemento ricevente e inviati nell'unità centrale.

L'apparecchiatura consente di visualizzare su display a colori il radargramma registrato in tempo reale e simultaneamente memorizza i dati su disco rigido per la successiva elaborazione al computer con opportuno software.

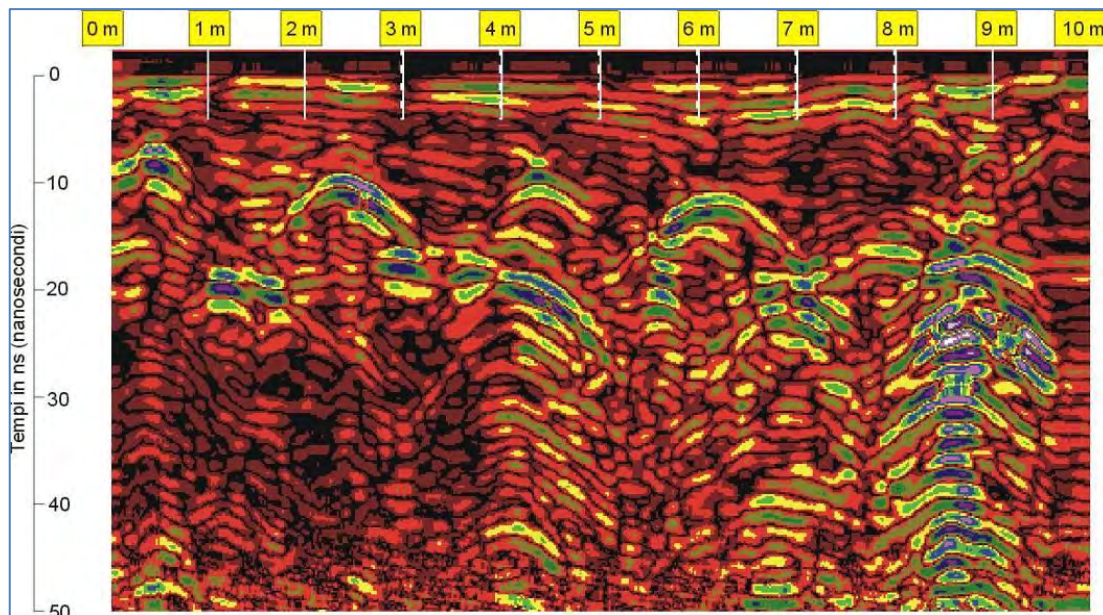


*Figura 2 - Principio di funzionamento del metodo georadar (GPR)*

Lo scopo fondamentale del trattamento digitale dei dati al computer è quello di migliorarne l'aspetto tramite operazioni di filtraggio, normalizzazione, amplificazione, ecc. al fine di semplificare la lettura e quindi l'interpretazione delle eventuali anomalie.

Sull'asse orizzontale dei radargrammi sono visualizzate le progressive metriche della linea registrata mentre su quello verticale si trovano i tempi di percorso in andata e ritorno dei tragitti riflessi.





*Figura 3 - Esempio di radargramma*

La risoluzione orizzontale dei segnali è inversamente proporzionale alla velocità di spostamento dell'antenna e la risoluzione verticale è direttamente proporzionale alla frequenza centrale degli impulsi emessi.

L'intensità degli eventi riflessi è tanto più forte quanto il contrasto fra le variazioni dielettriche è maggiore. La profondità d'indagine non può essere stabilita a priori del rilievo ma dipende dall'assorbimento dell'energia elettromagnetica da parte dei materiali in cui essa si propaga e quindi dalla natura dei mezzi attraversati, dallo stato fisico degli elementi che li compongono e da fattori ambientali e/o locali quali la temperatura, l'umidità, la presenza di cavità, ecc. Inoltre, l'obiettivo della prospezione e la profondità di penetrazione sono vincolati alla lunghezza d'onda degli impulsi: infatti se una struttura sepolta ha dimensioni molto piccole, essa viene rilevata soltanto con segnali di brevissima durata la cui elevata attenuazione a livello energetico ne limita però la penetrazione.

In sintesi: antenne con frequenze alte consentono una buona risoluzione fino a modeste profondità mentre antenne con frequenze basse offrono un dettaglio relativamente inferiore, ma permettono una maggior estensione di misura dal piano campagna.

Le antenne maggiormente utilizzate per indagini georadar sono elencate in *Tabella 1*.



Frequenza delle Antenne (MHz)	Penetrazione in un suolo medio (V = 0,09 m/ns)	Risoluzione Verticale (metri)	Campi d'impiego
1500	30 cm	0,01	Rilievi su strutture in cls, murature, manti stradali
900	1 metro	0,05	<i>Come sopra</i>
400-500	3 metri	0,1	Ricerca archeologica e di sottoservizi, indagini su strade e rivestimenti di gallerie
200-300	5 metri	0,2	Ricerca archeologica e di cavità su terreni e manufatti
100	8 metri	0,5	Ricerca archeologica, di grossi bersagli profondi e di cavità, indagini stratigrafiche

*Tabella 1 - Caratteristiche Antenne GPR*

La ricostruzione della sezione radarstratigrafica (conversione tempi-profondità) viene effettuata applicando, ai tempi di riflessione, i valori delle velocità di propagazione relativi alle costanti dielettriche, dei materiali investigati, con l'eventuale supporto di tarature dirette.

La velocità media di propagazione delle onde elettromagnetiche è legata alla costante dielettrica dalla seguente relazione:

$$V_m = C / \sqrt{\epsilon_r}$$

dove  $C = 0.300 \text{ m/nsec}$  (velocità della luce nel vuoto) ed  $\epsilon_r$  è la costante dielettrica relativa del materiale normalizzata a quella dell'aria.

La presenza di acqua o umidità nei materiali in esame, comporta un aumento della costante dielettrica relativa (vedi incremento della conduttività) e quindi una diminuzione della velocità degli impulsi elettromagnetici.

La conoscenza della costante dielettrica relativa è utile per determinare il tipo di materiale investigato e del suo grado di saturazione (*Tabella 2*)

Si fa presente che i radargrammi rendono evidenti i livelli riflettenti ed eventuali anomalie elettromagnetiche, dandone indicazioni quantitative e non qualitative.

La definizione di tali anomalie viene fornita nella fase d'interpretazione dei dati, in base alla tipologia (es. forma dell'oggetto che ha provocato la riflessione) e alla continuità planimetrica di echi identici o assimilabili.

MATERIALE	$\sigma$ mho/m	$\epsilon_r$
Aria	da $10^{-4}$ a $3 \cdot 10^{-2}$	1
Acqua dolce	da $10^{-4}$ a $3 \cdot 10^{-2}$	81
Acqua marina	4	81
Ghiaccio di acqua dolce	$10^{-3}$	4
Granito (asciutto)	$10^{-8}$	5
Calcere (asciutto)	$10^{-9}$	7
Argilla (satura)	da $10^{-1}$ a 1	da 8 a 12
Neve farinosa	da $10^{-6}$ a $10^{-5}$	1.4
Sabbia (asciutta)	da $10^{-6}$ a $10^{-3}$	da 4 a 6
Sabbia (satura)	da $10^{-4}$ a $10^{-2}$	30
Silt (saturo)	da $10^{-3}$ a $10^{-2}$	10
Ghiaccio di acqua marina	da $10^{-2}$ a $10^{-1}$	da 4 a 8
Basalto (bagnato)	$10^{-2}$	8
Granito (bagnato)	$10^{-3}$	7
Argilloscisto (bagnato)	$10^{-1}$	7
Arenaria (bagnata)	$4 \cdot 10^{-2}$	6
Calcere (bagnato)	$2.5 \cdot 10^{-2}$	8
Suolo sabbioso (asciutto)	$1.4 \cdot 10^{-4}$	2.6
Suolo sabbioso (bagnato)	$6.9 \cdot 10^{-3}$	25
Suolo siltoso (asciutto)	$1.1 \cdot 10^{-4}$	2.5
Suolo siltoso (bagnato)	$2.1 \cdot 10^{-2}$	19
Suolo argilloso (asciutto)	$2.7 \cdot 10^{-4}$	2.4
Suolo argilloso (bagnato)	$5 \cdot 10^{-2}$	15

*Tabella 2 – Costante dielettrica e grado di saturazione di alcuni materiali*

### 3 MODALITÀ ESECUTIVE DELLA PROSPEZIONE GEORADAR

Il programma delle indagini georadar e in particolar modo l'ubicazione delle linee registrate è stato stabilito in accordo con il Committente. Sono state acquisite n.10 linee.

1. Acquisizione dati con parametri definiti nel corso di prove preliminari, utilizzando una strumentazione georadar GSSI SIR-4000 munita di antenna a frequenza singola da 400 MHz. Le progressive di avanzamento sono state riportate sui radargrammi mediante ruota contimetri esistente sul carrello porta-strumentazione. Su ogni linea sono state registrate 100 scansioni/metro con 512 campionamenti del segnale per scansione. La profondità di rilievo è stata impostata 2m di profondità da p.c.
2. I radargrammi sono stati parzialmente trattati con software installato sulla strumentazione di registrazione e analizzati in tempo reale sul monitor per decidere il posizionamento esatto del punto.

#### 4 ESITO DELL'INDAGINE GEORADAR

La propagazione degli impulsi georadar e quindi la profondità e la risoluzione del rilievo dipende dalla presenza della falda, dalla tipologia dei materiali indagati e del target da individuare. Nel caso di penetrazione ottimale del segnale il rapporto "profondità d'indagine/dimensioni dell'obiettivo" è di circa 3/1, ma non è possibile avere garanzie a priori.

Analizzando gli spettri d'ampiezza delle tracce riflesse sui radargrammi acquisiti si evidenzia una scarsa penetrazione dell'impulso elettromagnetico immesso nel sottosuolo dovuto probabilmente alla presenza di umidità.

La posizione delle prove penetrometriche è stata ubicata nelle aree indicate dalla Committente tramite picchetto in legno infisso nel terreno dove non sono state riscontrate anomalie riconducibili a sottoservizi.

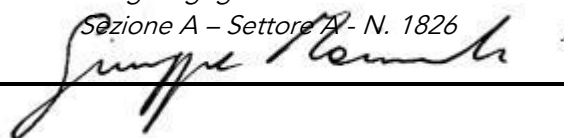
---

Castel Bolognese, dicembre 2024

*Dott. Geol. Diego Peraccini*  
*Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna*  
*Sezione A - N. 1239*



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





## **ALLEGATO 2**

Report indagine sismica (MASW + HVSR)



## **COMMITTENTE:**

**GEOLOG STUDIO GEOLOGI ASSOCIATI**

### **POTENZIAMENTO DELLA CABINA PRIMARIA DI ENEL DISTRIBUZIONE A TRESIGALLO (FE)**

REGIONE: EMILIA ROMAGNA

PROVINCIA: FERRARA

COMUNE: TRESIGALLO

UBICAZIONE: CABINA PRIMARIA ENEL – VIA ROSSETTA

## **RELAZIONE TECNICO-SISMICA**

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	2
2	UBICAZIONE DELLE INDAGINI .....	3
3	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	4
3.1	STRUMENTAZIONE PER MASW E HVSr .....	4
3.1.1	SOFTWARE PER L'ELABORAZIONE .....	5
4	INDAGINI SISIMICHE MASW E HVSr.....	6
4.1	MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES).....	6
4.1.1	RISULTATI INDAGINE MASW.....	10
4.2	HVSr (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO).....	13
4.2.1	RISULTATI INDAGINE HVSr.....	14
5	CONSIDERAZIONI FINALI.....	15

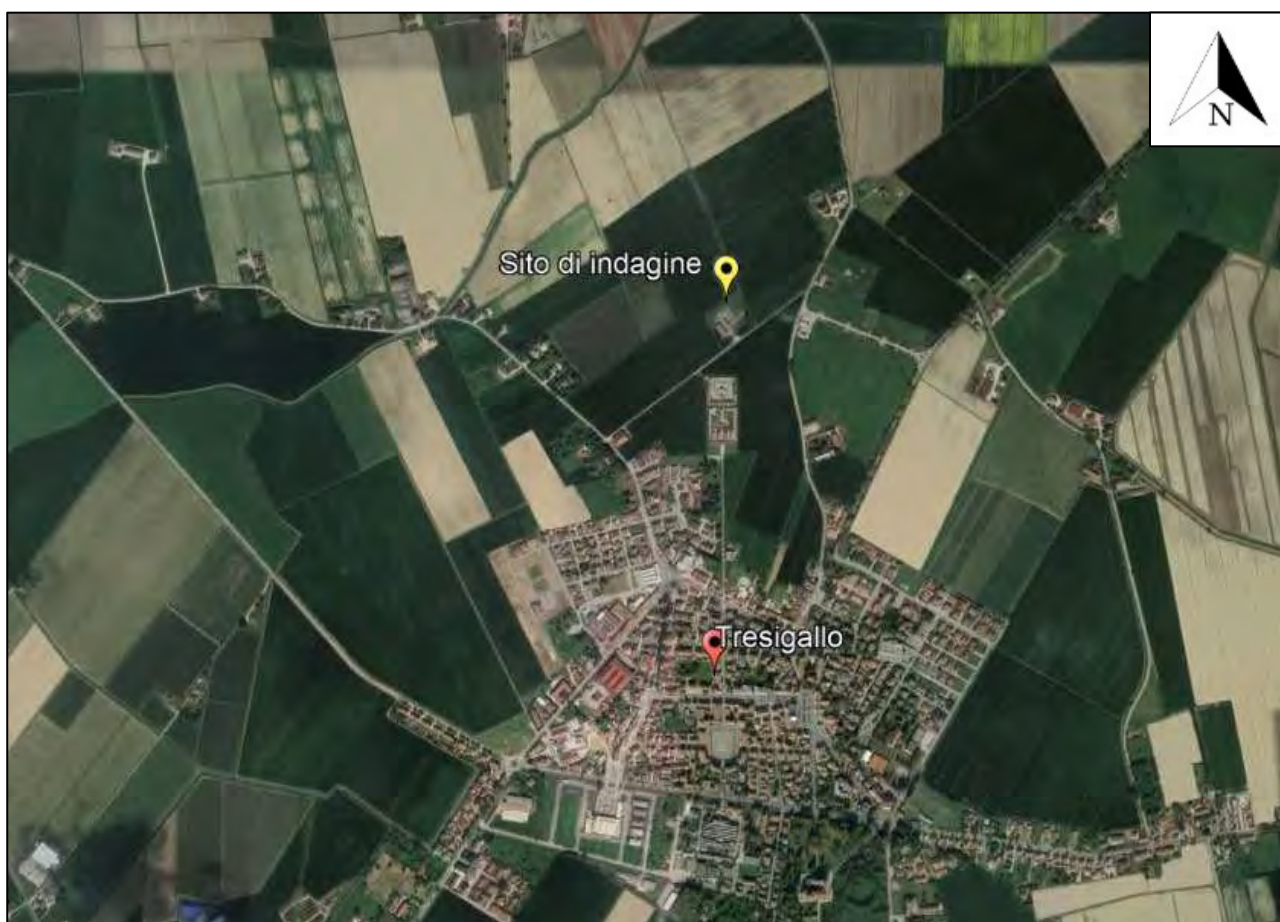
## ALLEGATI

ALLEGATO 1: REPORT HVSr

## 1 INTRODUZIONE

Su incarico ricevuto da GEOLOG STUDIO GEOLOGI ASSOCIATI, in data 17/12/2024, è stata eseguita un'indagine geofisica tipo MASW corredata da un'indagine HVSr nel territorio comunale di Tresigallo (FE).

Nella seguente Figura 1 viene riportata l'ubicazione del sito di indagine.



*Figura 1 – Ubicazione dell'area oggetto di indagine, indicata dal picchetto giallo, rispetto all'abitato di Tresigallo (FE)*

## 2 UBICAZIONE DELLE INDAGINI

Nello specifico le prove sono state eseguite in un'area della cabina primaria di Enel distribuzione nei pressi di Via Rossetta nel Comune di Tresigallo (FE).



*Figura 2 - Ubicazione della prova MASW, indicata dalla linea rossa, e della prova HVSr, indicata dal cerchio bianco, presso la cabina primaria dell'Enel a Tresigallo (FE)*

### 3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

#### 3.1 STRUMENTAZIONE PER MASW E HVSR

Per l'acquisizione dei dati sismici è stato utilizzato un SISMOGRAFO AMBROGEO mod. ECHO24/2010 (Figura 3), dotato di 24 geofoni verticali e orizzontali con frequenza propria di 4.5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati. Il sistema di energizzazione è composto da una mazza battente pari a 8 kg manovrata a mano e agente a percussione su una piastra in polizene.


**AMBROGEO** Strumenti per Geofisica

---

**Seismograph ECHO 24 Seismic Unit**



- Monitor: Touchscreen/External laptop
- Number of channels: 12-24+1
- A/D Conversion: 24 bits
- Dynamic range: 130dB @1ms PG=0dB  
120dB @1ms PG=18dB  
>90db
- Cross talk: 0db, 6db, 12db, 24db, 30 db, 36 db
- Preamplify gain: 0 to 6KHz (30kSPS)
- Frequency response: 0 to 4,8KHz (15kSPS),  
0 to 3KHz (7,5kSPS),  
0 to 1,5KHz (3,5kSPS),  
0 to 800Hz (2kSPS),  
0 to 400Hz (1kSPS)
- Acquisition and display filter: Low Cut Out  
10.15.25.35.50.70.100.200.280.400 Hz
- Sampling interval: 32us,64us,128us,256us,480us,960us
- Record length: 16000 samples
- Stacking trigger accuracy: 1/32 of samples interval
- Distorsion (THD): 0,0004 %
- Max input signal: 2Vpp,0Db
- CMR: 110dB (fCM =60Hz, fDATA = 30kSPS)
- Noise: 0,25uV,2ms,36Db
- Pre-trigger data: 524ms @ 32us sample interval
- Delay: 0 to 2500ms step 10ms
- Temperature range: -30°C/+70°C
- Power: 12 V
- Continuous recording: HVSR
- Output format: SEG-Y/SG2 / SAF (SESAME ASCII FORMAT)
- Connector: 61-pin Bendix connector - NK27-pin Cannon connector

  
  
  
61 pins connector

AMBROGEO INSTRUMENTS  
 Via Roveleto Landi 3 - 29029 Rivergaro - Piacenza - ITALY  
 Tel.+39 0523 956119 - Fax.+39 0523 956226 - www.ambrogeo.eu - e-mail: info@ambrogeo.com

**Figura 3 – Caratteristiche tecniche del sismografo utilizzato per l'indagine MASW**



L'acquisizione HVSR è regolata da un geofono 3D Mod. Gemini 2, formato da n°2 sensori da 2Hz debitamente accoppiati e aventi una scheda di acquisizione da 24 bit reali. La tecnica di acquisizione che ne deriva non implica energizzazione del suolo. Di seguito, in Figura 4, si riportano le caratteristiche tecniche del geofono in questione.

SPECIFICHE TECNICHE GEMINI -2	
SCHEDA ACQUISIZIONE DATI	
Alimentazione / Registrazione Dati	Tramite porta USB di un PC esterno (di fornitura Cliente)
Conversione Dati	Convertitore A/D Sigma-Delta 24 bit reali
Frequenza di Campionamento	Max. Freq. 8ksps, simultaneamente su 3+1 canali
Rapporto S/N	Max 117 db
Largh.Banda +/- 0.1 dB	108 Hz @ 1ksps
Largh.Banda -3 dB	212 Hz @ 1ksps
Numero di canali	3 + 1 (trigger)
Formato Dati	SAF (Sesame ASCII Format) / SEG2 (.dat)
SENSORI GEMINI 2	
Freq. nat. di risonanza	2 Hz $\pm$ 10%
Sensibilità	2 V/cm·S <sup>-1</sup> $\pm$ 5%
Resistenza interna	5.8 k $\Omega$ $\pm$ 5%
Damping	0.7 $\pm$ 10%
Distorsione armonica	$\leq$ 0.2%
Impedenza d'ingresso	$\geq$ 10 M $\Omega$
Temperatura operativa	da -25°C a +55°C
Bloccaggio sensori	automatico quando non in uso
Dimensioni	Diam. 128 mm h. 175mm
Peso	2.4 Kg

*Figura 4 – Caratteristiche tecniche del geofono utilizzato per la prova HVSR*

### 3.1.1 SOFTWARE PER L'ELABORAZIONE

Per l'elaborazione dei dati sismici si è utilizzato il software winMASW Professional ([www.eliosoft.it](http://www.eliosoft.it)).

## 4 INDAGINI SISIMICHE MASW E HVSR

### 4.1 MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata un'acquisizione MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves). In particolare, è stata effettuata un'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh utile a definire il profilo verticale della  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni NTC del DM 17 gennaio 2018.

La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore della  $V_{s30}$  (il valore medio ponderato della  $V_s$  nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

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

dove:

- $h_i$  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.

Le MASW utilizzate per questo lavoro consistono nella registrazione e nell'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh. Le onde vengono generate da una sorgente ad impatto verticale e poi vengono registrate tramite geofoni disposti ad intervalli regolari in linea retta (Figura 5).

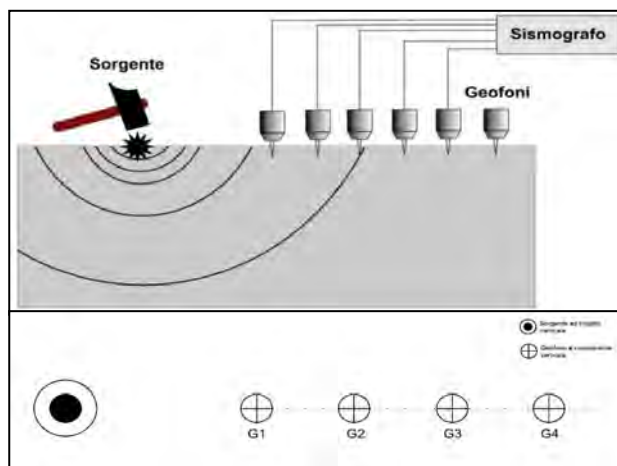


Figura 5 – Schema stendimento sismico in sezione (in alto) ed in pianta (in basso)

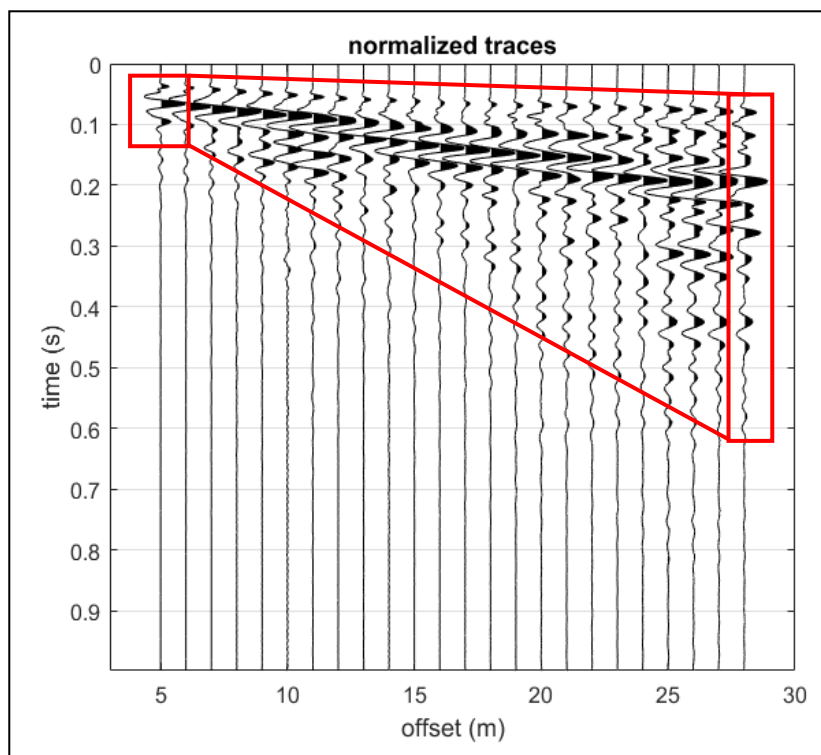
Di seguito (Figura 6) è mostrata la strumentazione utilizzata.



*Figura 6 - Strumentazione utilizzata per l'indagine MASW*

Nella campagna di indagine in oggetto, è stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni con spaziatura di 2.00 metri per una lunghezza della linea sismica di 46.00 metri. Le energizzazioni sono state eseguite a 5.00 e 10.00 metri dal primo e dall'ultimo geofono.

Ove necessario, per ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva delle registrazioni, sono stati sommati più tiri. L'onda, inizialmente compatta, durante la sua propagazione in un mezzo stratificato si disperde perdendo la sua originale compattezza (Figura 7). Il segnale si distende su una maggiore lunghezza in quanto alcune componenti dell'onda viaggiano a velocità superiori rispetto ad altre.



*Figura 7 – Esempio di record sismico all'interno del dominio x-t. In rosso viene evidenziata la dispersione dell'onda*

Da questa osservazione se ne ricava il concetto di curva di dispersione. Se ad ogni componente dell'onda (frequenza) si associa una certa velocità di propagazione si otterrà una curva in grado di descrivere in modo quantitativo la dispersione del segnale analizzato (Figura 8).

L'analisi della dispersione delle onde di superficie per la determinazione del profilo Vs si sviluppa essenzialmente in due operazioni:

- 1) Determinazione dello spettro di velocità, contenente le proprietà dispersive delle onde di superficie;



- 2) Inversione o modellazione delle curve di dispersione precedentemente osservate ed individuazione della Vs di riferimento.

La visualizzazione dei dati avviene nel dominio offset-tempo (*dominio x-t*) (Figura 7), ma per analizzare le proprietà dispersive di un segnale è più comodo lavorare in un dominio frequenza velocità (*dominio f-v*) (Figura 8), dov'è possibile determinare con precisione la velocità di ciascuna componente. Quest'ultimo è appunto lo spettro di velocità.

Il passo successivo è il *picking o modellazione diretta* della curva di dispersione (Figura 8), ossia estrarre le informazioni sulle proprietà dispersive del mezzo. Tale procedimento risulta cruciale per la finale individuazione della Vs di riferimento.

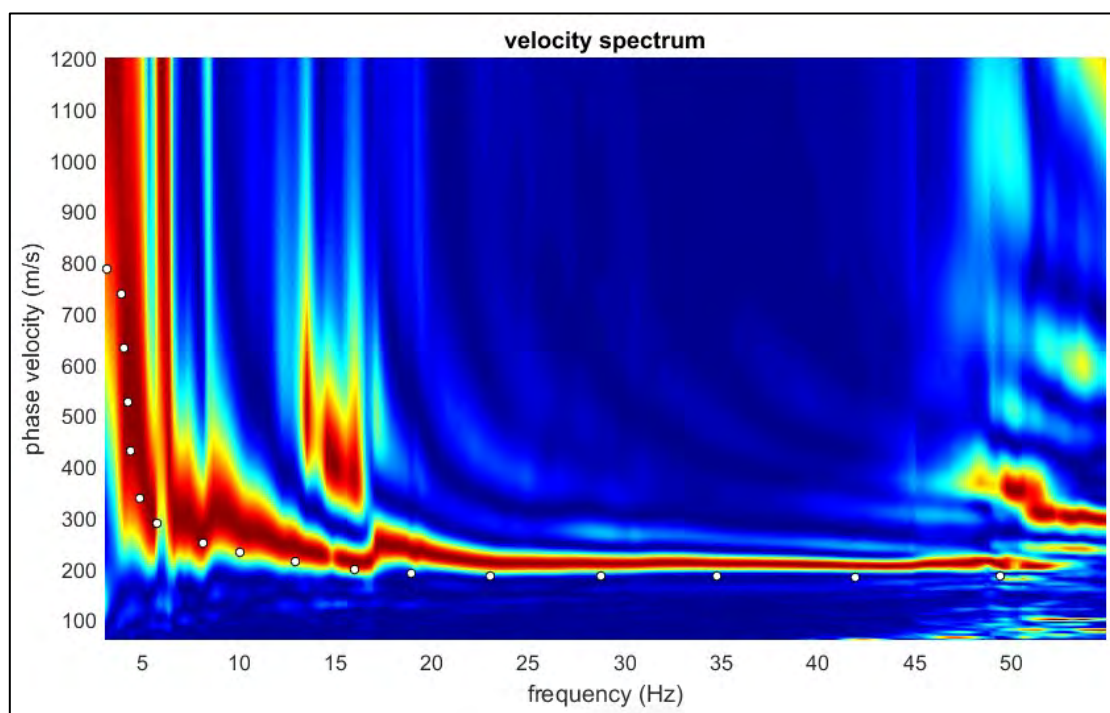
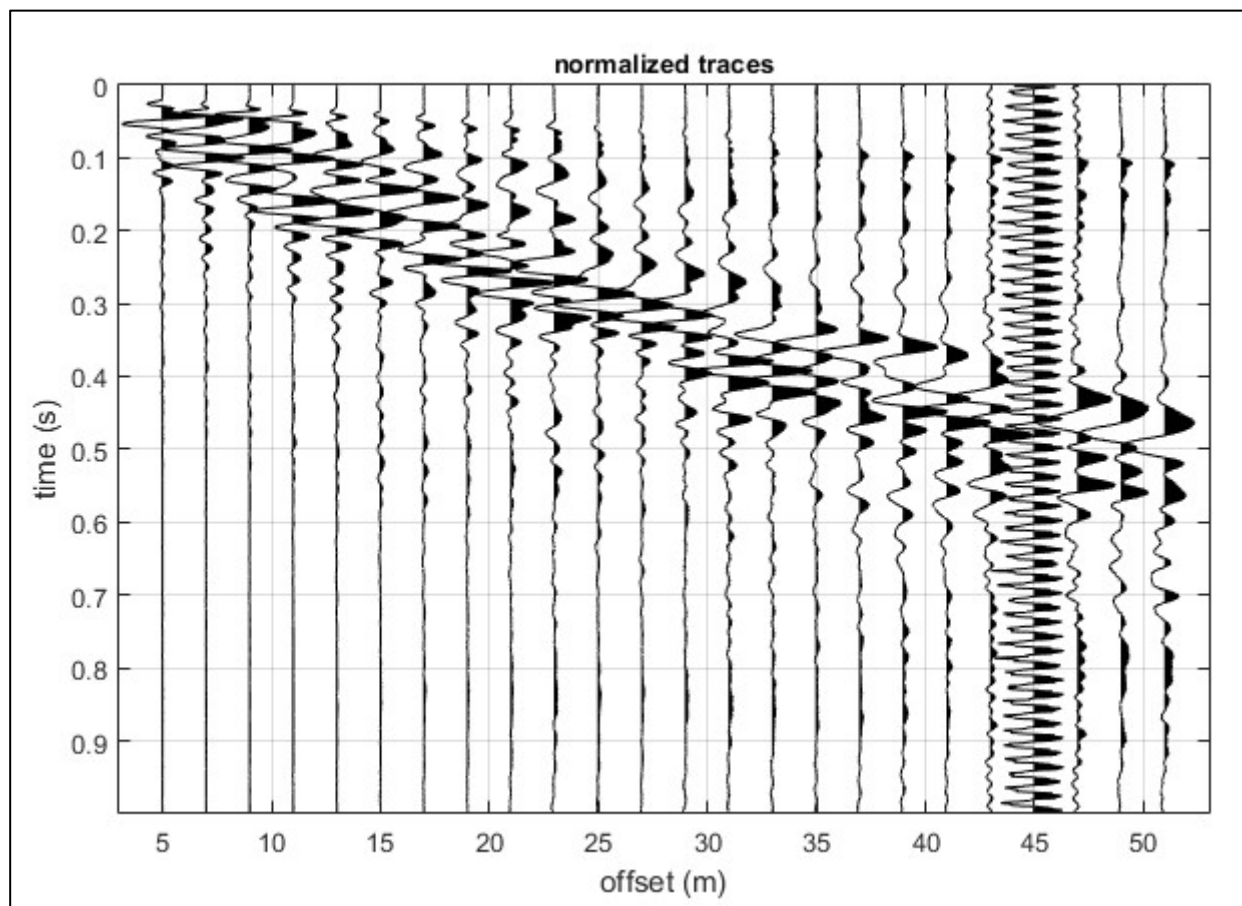


Figura 8 – Esempio di record sismico all'interno del dominio f-v (spettro di velocità) con picking della curva di dispersione



#### 4.1.1 RISULTATI INDAGINE MASW

I dati della MASW, la cui ubicazione è riportata in Figura 2, sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire, insieme allo spettro HVSR, il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS) (Figura 9).



*Figura 9 – Dati di campagna-Onde di Rayleigh della MASW*

Di seguito sono riportati gli spettri osservati, le curve di dispersione piccate (Figura 10) ed il modello individuato dall'inversione (Figura 11).

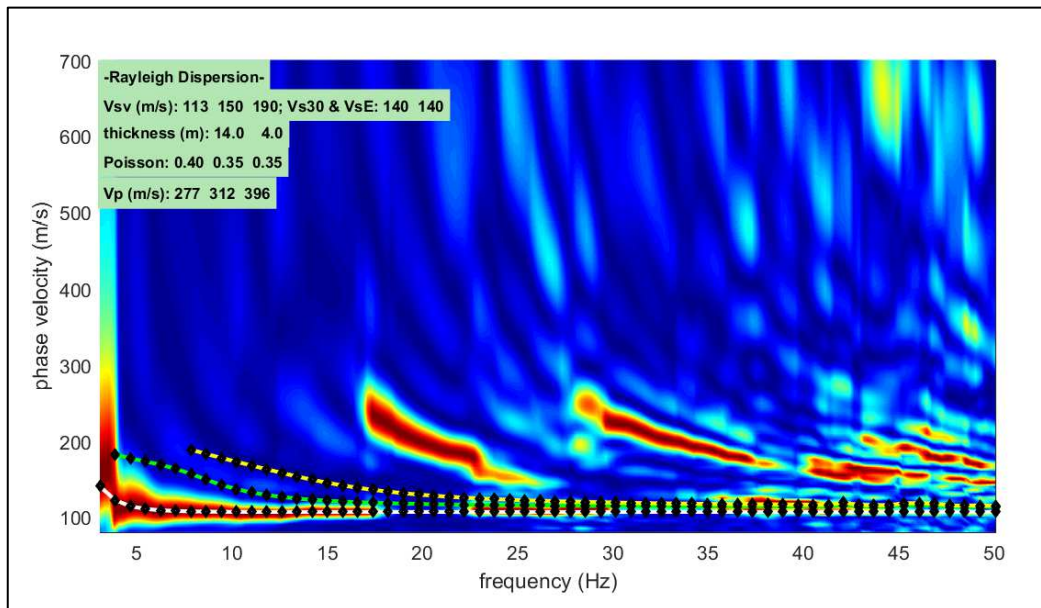


Figura 10 – Spettro di velocità onde di Rayleigh della MASW

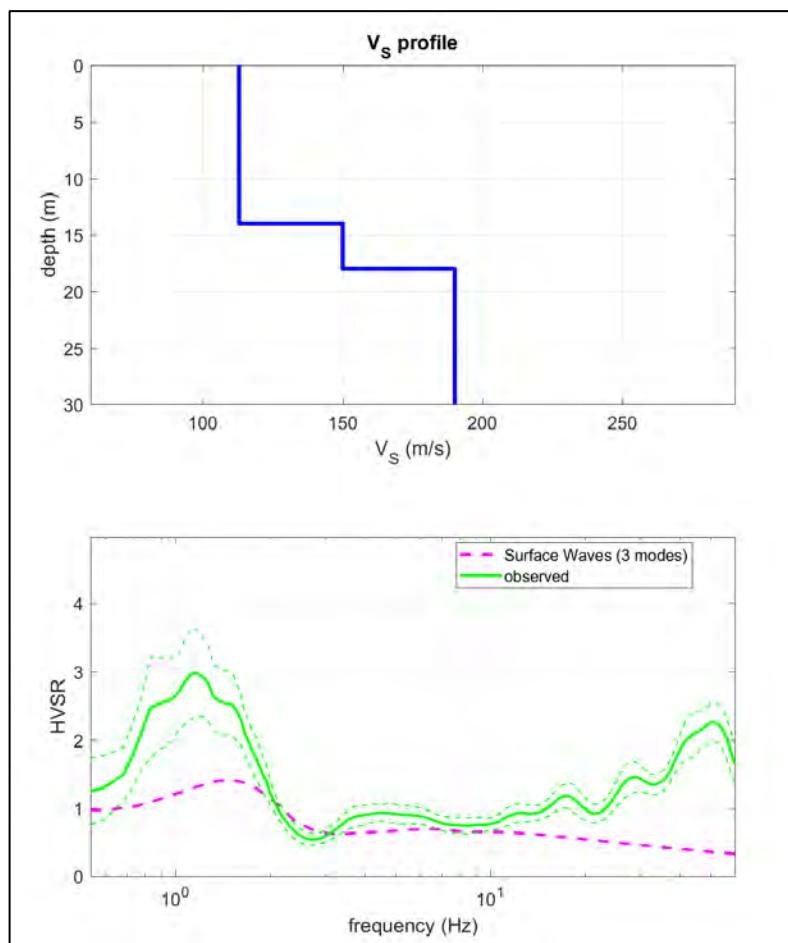


Figura 11 – Risultati della modellazione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW per le onde di Rayleigh

In Tabella 1 si riporta la sismo-stratigrafia ricavata dalla prova eseguita.

*Tabella 1 – Modello del sottosuolo individuato dalle onde di Rayleigh*

Profondità [m]	Spessore [m]	V <sub>s</sub> [m/s]
0.00÷14.00	14.00	113
14.00÷18.00	4.00	150
>18.00	/	190

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW), insieme all'analisi dello spettro HVSR, ha consentito di determinare il profilo verticale della VS e, di conseguenza, del parametro Vs30, risultato pari a **140 m/s** per le onde di Rayleigh (considerando come riferimento il piano campagna).

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni DM 17 gennaio 2018, il sito in esame ha evidenziato che i terreni di fondazione sono attribuibili alla:

**CATEGORIA 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.”.*

#### **4.2 HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)**

I dati utili a definire il rapporto spettrale H/V vengono acquisiti attraverso una terna di geofoni (due orizzontali perpendicolari tra loro e uno verticale) aventi stessa risposta/sensibilità in termini di ampiezza. Si tratta di misure di sismica passiva, vengono acquisiti i microtremori ambientali presenti ovunque. L'esecuzione della prova consiste nel porre sul suolo la strumentazione di indagine (Figura 12) che registra, per almeno 25 min, le componenti del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali. La terna di geofoni, con frequenza propria di 2 Hz, è collegata ad un sismometro per la registrazione e la memorizzazione del segnale acquisito. L'ipotesi alla base della metodologia è che essendo i microtremori causati prevalentemente dalle onde di Rayleigh, la componente verticale del moto non subisce fenomeni di amplificazione in corrispondenza di marcati contrasti di impedenza sismica, mentre detto fenomeno avviene per le componenti orizzontali, soprattutto in corrispondenza della frequenza fondamentale di risonanza ( $F_0$ ) dei terreni indagati. Eseguendo quindi il rapporto tra gli spettri di frequenza orizzontale e verticale (H/V) si ottiene un grafico in cui si evidenziano le frequenze in cui si hanno i maggiori effetti di amplificazione locale. Una volta determinata la curva HVSR ne vengono identificati i picchi di frequenza che vengono sottoposti ai criteri del progetto SESAME con la finalità di verificare la validità statistica del picco individuato e la possibile risonanza alle frequenze geologico-ingegneristiche di interesse (0.5 - 20 Hz).

#### 4.2.1 RISULTATI INDAGINE HVSR

L'acquisizione HVSR nel sito di indagine è stata effettuata campionando il segnale per una durata di 30 minuti. Eseguendo quindi il rapporto tra gli spettri di frequenza orizzontale e verticale (H/V) si ottiene un grafico in cui si evidenziano le frequenze in cui si hanno i maggiori effetti di amplificazione locale (Figura 12).

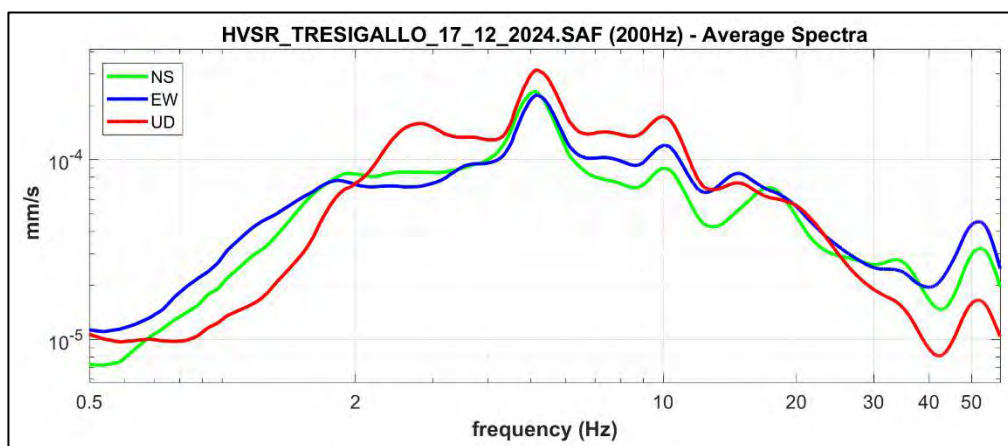


Figura 12 – Analisi spettrale delle diverse componenti dei microtermori misurati nel sito in analisi. UD: componente verticale; NS: componente Nord-Sud; EW: componente Est-Ovest

Dall'esame dei dati, per frequenze di interesse ingegneristico inferiori a 20 Hz ( $T=0.05$  sec), si nota un picco di amplificazione di 2.98 alla frequenza di 1.17 Hz (Figura 13).

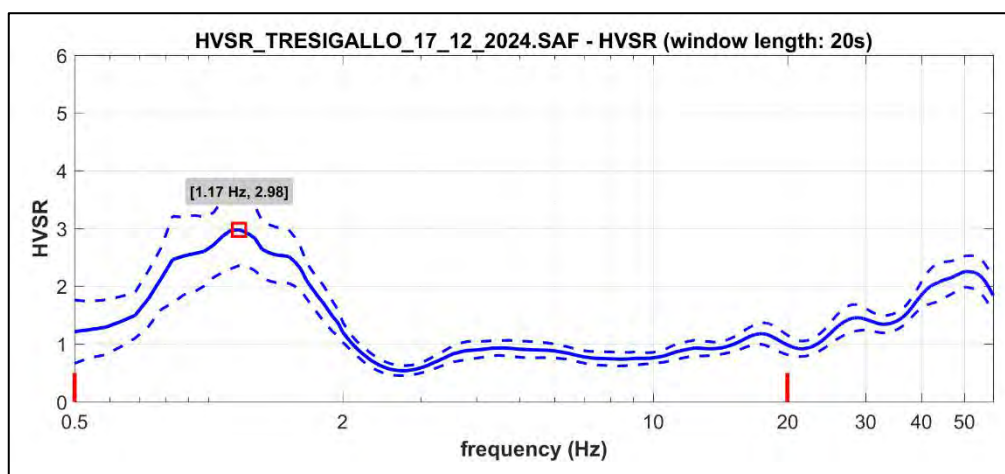


Figura 13 – Elaborazione dei HVSR dei microtermori

In ALLEGATO 1 viene riportato il report dell'indagine HVSR.



## 5 CONSIDERAZIONI FINALI

Su incarico ricevuto da GEOLOG STUDIO GEOLOGI ASSOCIATI, in data 17/12/2024, è stata eseguita una prova geofisica tipo MASW corredata da una prova HVSr presso la cabina primaria di Enel distribuzione nel Comune di Tresigallo (FE).

L'indagine MASW ha consentito di determinare il profilo verticale della VS e di conseguenza, del parametro Vs30, risultato pari a **140 m/s** (considerando come riferimento il piano campagna).

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni DM 17 gennaio 2018, il sito in esame ha evidenziato che il terreno di fondazione analizzato è attribuibile alla:

**CATEGORIA 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.”.*

Monticelli Terme, il 18/12/2024

# ALLEGATI

# **ALLEGATO 1 – REPORT HVSR**

## winMASW & HoliSurface: Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

---

Dataset: HVSR\_TRESIGALLO\_17\_12\_2024.SAF

### DATA ACQUISITION

Date and time: 2024 12 17 10 07 32

Notes: 0°N

GPS data: Unavailable

### DATA PROCESSING

Date: 18 12 2024

Time: 10 30

Sampling frequency (Hz): 200

Window length (sec): 20

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 30.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

### ##### SESAME criteria #####

**In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 1.2 (±0.3)

Peak HVSR value: 3.0 (±0.6)

### === Criteria for a reliable H/V curve ===

#1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $1.172 > 0.5$  (OK)

#2.  $[n_c > 200]$ :  $3916 > 200$  (OK)

#3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

### === Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ===

#1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 0.3Hz (OK)

#2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 2.0Hz (OK)

#3.  $[A_0 > 2]$ :  $3.0 > 2$  (OK)

#4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)

#5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$ :  $0.282 > 0.117$  (NO)

#6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.793 < 1.78$  (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.

show data reset

step#1 (optional) - deconvolve  
 64 Hz new frequency resample

step#2 - H/V computation  
 remove events both Rad. & clean axes  
 20 window length (s) Min. freq.: 0.5 Hz  
 5 tapering (%)  
 15 amplitude threshold  
 5 HVSR threshold test removal  
 15% spectral smoothing (triangular window)  
 2 detrending order no equalization  
☐ Particle motion, all HVSRs, time lapse and video  
☒ full output compute

continuity

3D motion  
☐ save video show 3D motion

directivity analysis  
 frequencies to highlight: 1.0 5.0 10.0 Hz compute

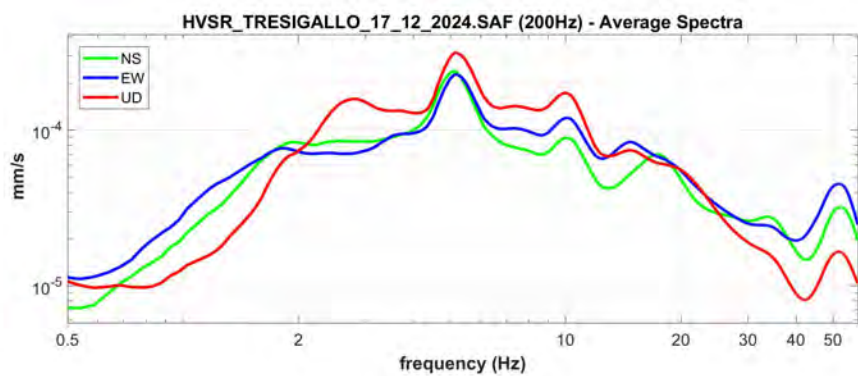
save - optional: save HVSR as it is  
 save H/V from 0.5 to 60 Hz  
 save HV curve (as it is)

picking HV or amplitude spectra  
 HVSR pick data  
 save picked HV compute

quick analysis (H/Vs/4H)  
 average Vs (m/s) (from surface to bedrock)  
 20 depth of the bedrock  
 1000 Vs of the bedrock  
 clean compute

highlight a frequency  
 draw/highlight 10 Hz

directivity over time  
 directivity in time time 120 s



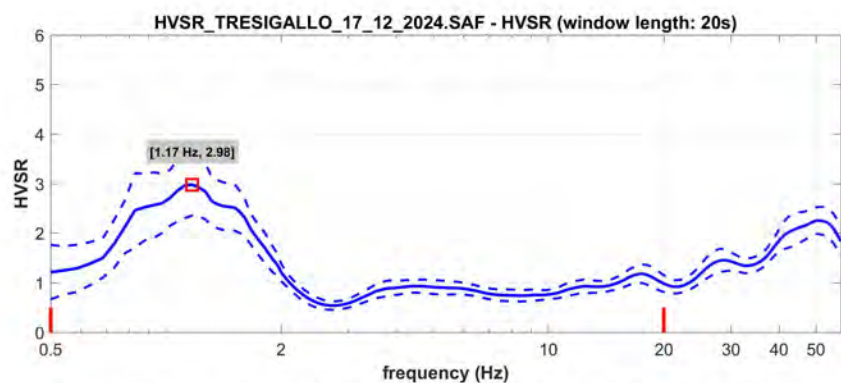
open working folder

show location

field notes

your comment

default axes



Criteria for a reliable H/V curve

H1: OK

H2: OK

H3: OK

Criteria for a clear H/V peak [1.17 Hz]

H1: OK

H2: OK

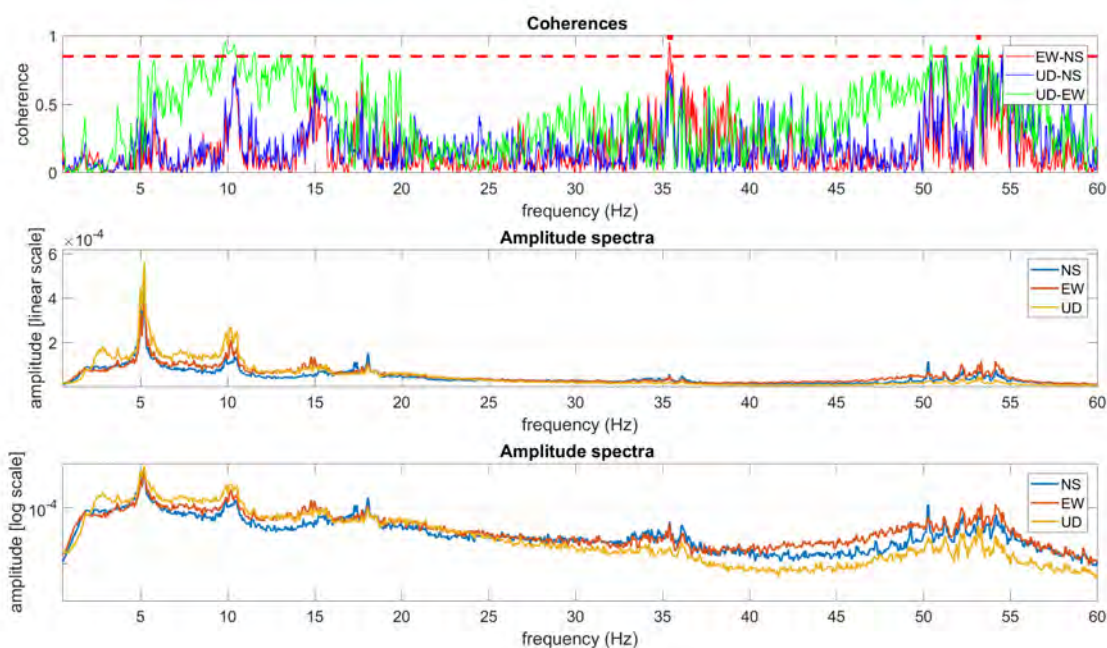
H3: OK

H4: OK

H5: OK

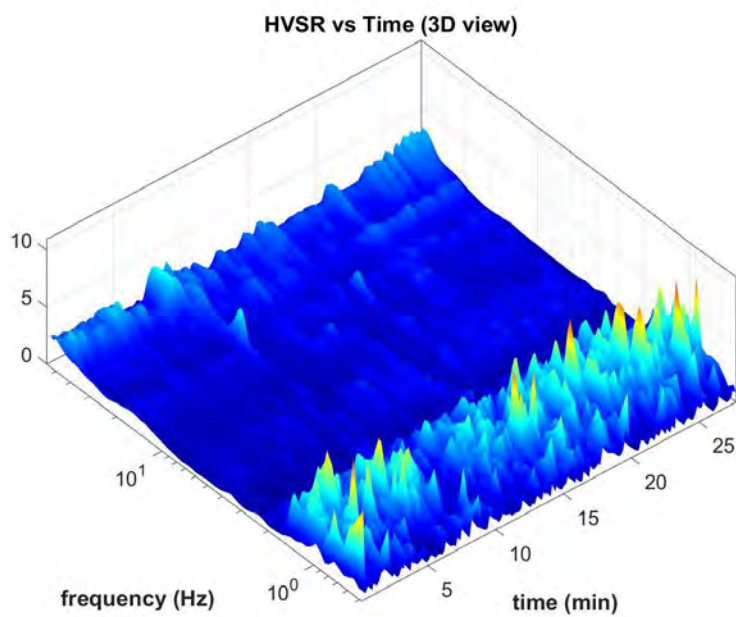
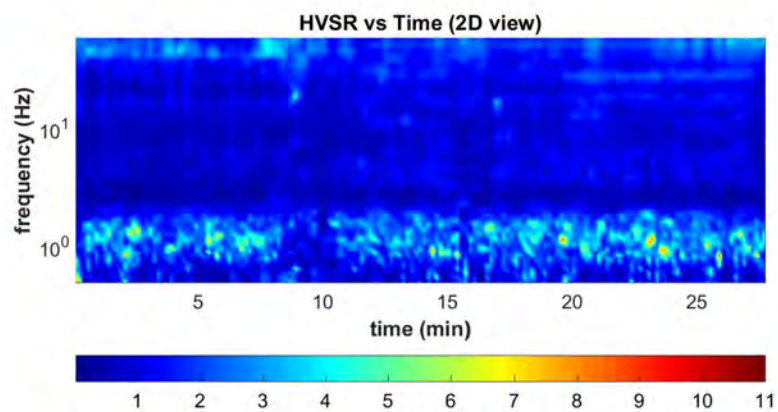
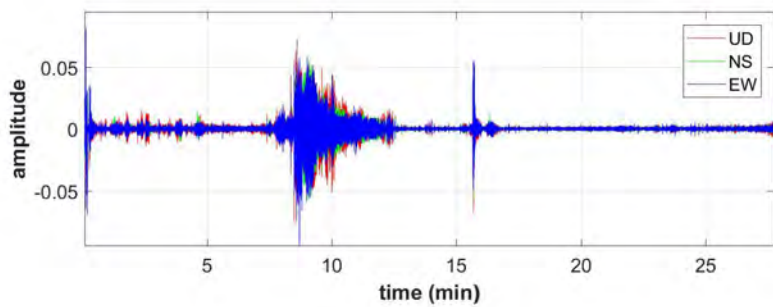
H6: OK

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling &amp; Picking" panels and upload the saved HV curve

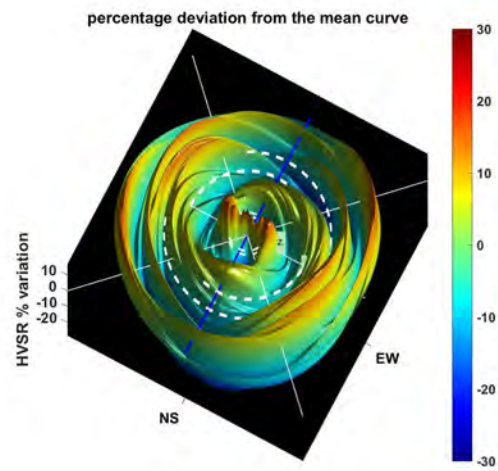
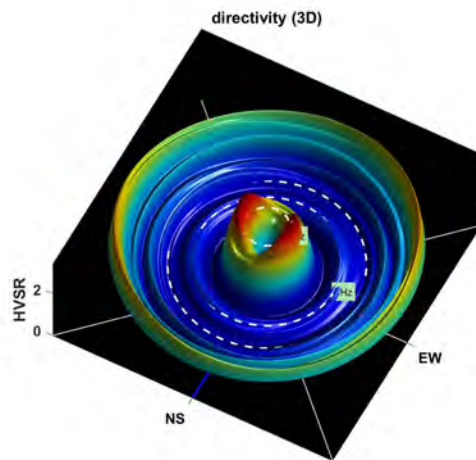
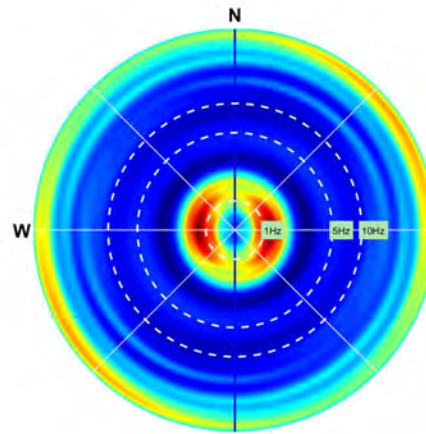
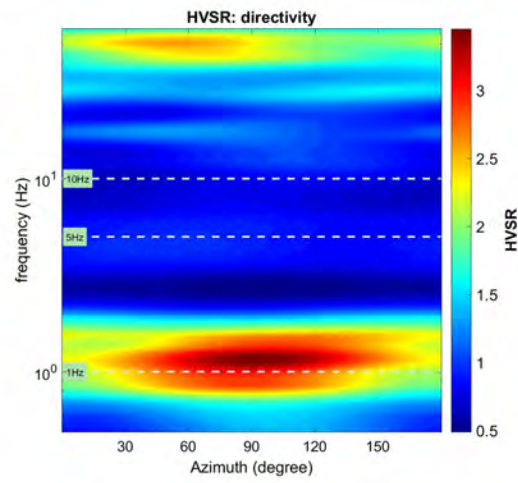


##### Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio





##### Directivity of the H/V Spectral Ratio



winMASW & HoliSurface - Surface Waves and Beyond

[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)