

**Unione Europea
REPUBBLICA ITALIANA**



Regione Siciliana

**Assessorato delle Infrastrutture e della Mobilità
Dipartimento Regionale Tecnico**

*Servizio 5 - Espletamento di servizi di ingegneria di competenza
regionale e/o per conto di enti locali
(per le Province di Palermo, Caltanissetta, Agrigento, Trapani)*

**INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DEL PIANO VIARIO DELLE STRADE SAN MAURO
CASTELVERDE - GANGI SP 52 ED SP 60**

IMPORTO COMPLESSIVO LAVORI € **13.500.000,00**- CUP D97H21001660002

RIFERIMENTO ELABORATO

N. 2

DATA: 14/07/2021

SCALA:

**RELAZIONE GEOLOGICA E INDAGINI
PARTE QUARTA**

I PROGETTISTI
p.p.v.

F.to Arch. Vincenzo Viscardi

F.to Arch. Giuseppe Pedone

F.to Geom. Paolo Franzone

F.to Geom. Francesco Carollo

COLLABORATORI TECNICI

Arch. Fabiola Fucile

Ing. Piero Fabio

COORDINATORE DELLA
SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE
(Geom. Francesco Carollo)

Visto: Il Dirigente
Servizio 5 -D.R.T
Ing. Giuseppe Pirrello

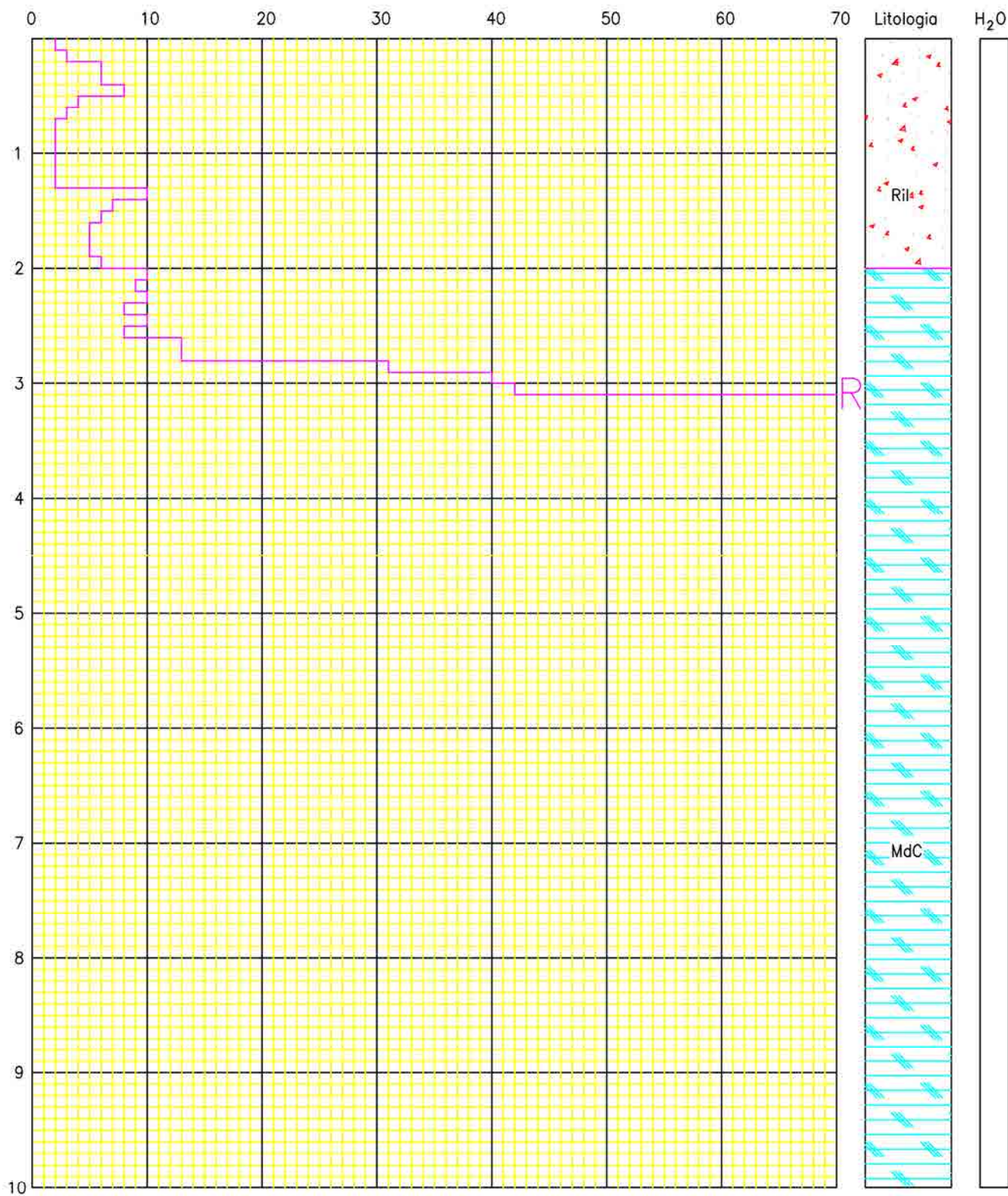
IL SUPPORTO AL R.U.P.
F.to Fabrizio Pirrone

IL R.U.P.
F.to Ing. Giuseppe Pirrello

DYNAMIC-PENETROMETRIC TEST

N PENNI30

SPT n° 10



Località: Comune San Mauro Castelverde. S.P. 60, dissesto n° 13

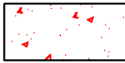

Legenda: Ril =Rilevato stradale di origine antropica

MdC = Marne di Castelbuono

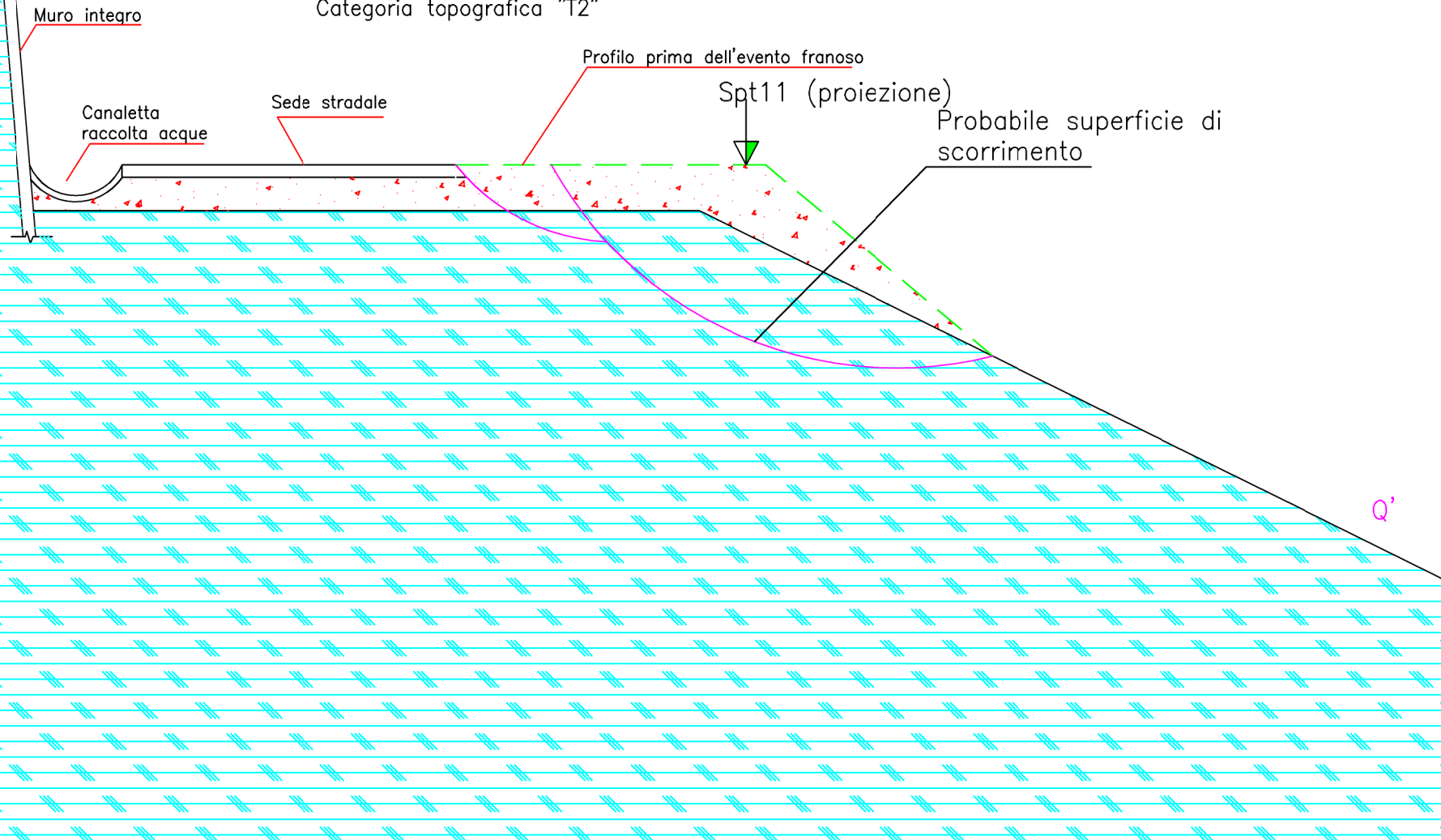
Foto n° 16
ESECUZIONE PROVA SPT11



Dissesto n° 13 ALL. 67
Profilo Geolitologico Q-Q'
Scala 1:100

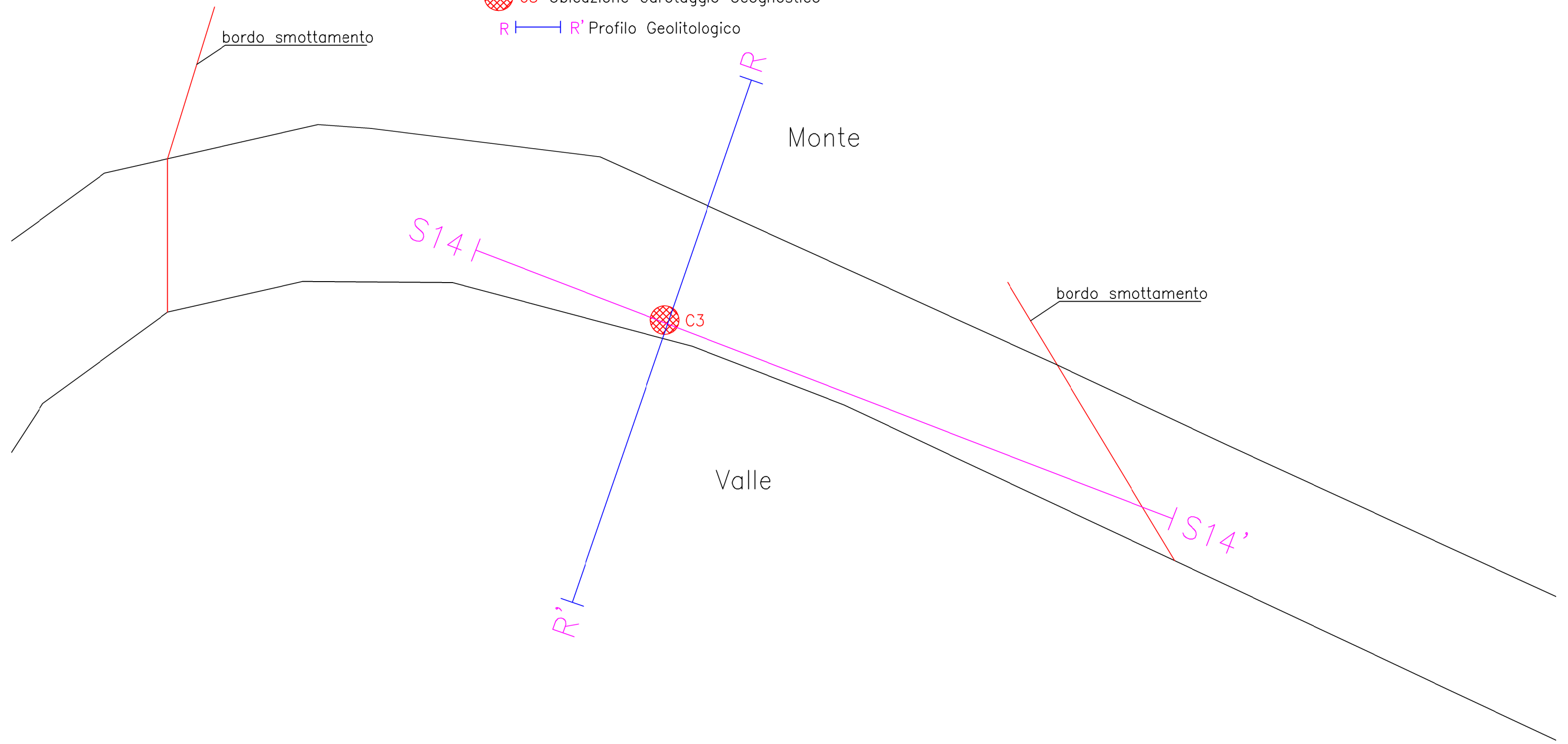
-  Rilevato antropico frammisto a detrito. Sabbie e ghiaie in una matrice limosa, poco addensate
 $\phi = 23^\circ$, $\gamma = 1,900 \text{ g/cc}$, $E' = 30-40 \text{ Kg/cmq}$; $C' = 0,10 \text{ Kg/cmq}$, $C_u = 0,15 \text{ Kg/cmq}$
-  Marne di Castelbuono. Alternanza di argille, quarzareniti e marne da giallastre a grigio scuro.
 $\phi = 27^\circ$, $\gamma = 2,000 \text{ g/cc}$, $E' = 70-80 \text{ Kg/cmq}$; $C' = 0,15 \text{ Kg/cmq}$, $C_u = 0,20 \text{ Kg/cmq}$

Categoria sottosuolo "B"
Categoria topografica "T2"



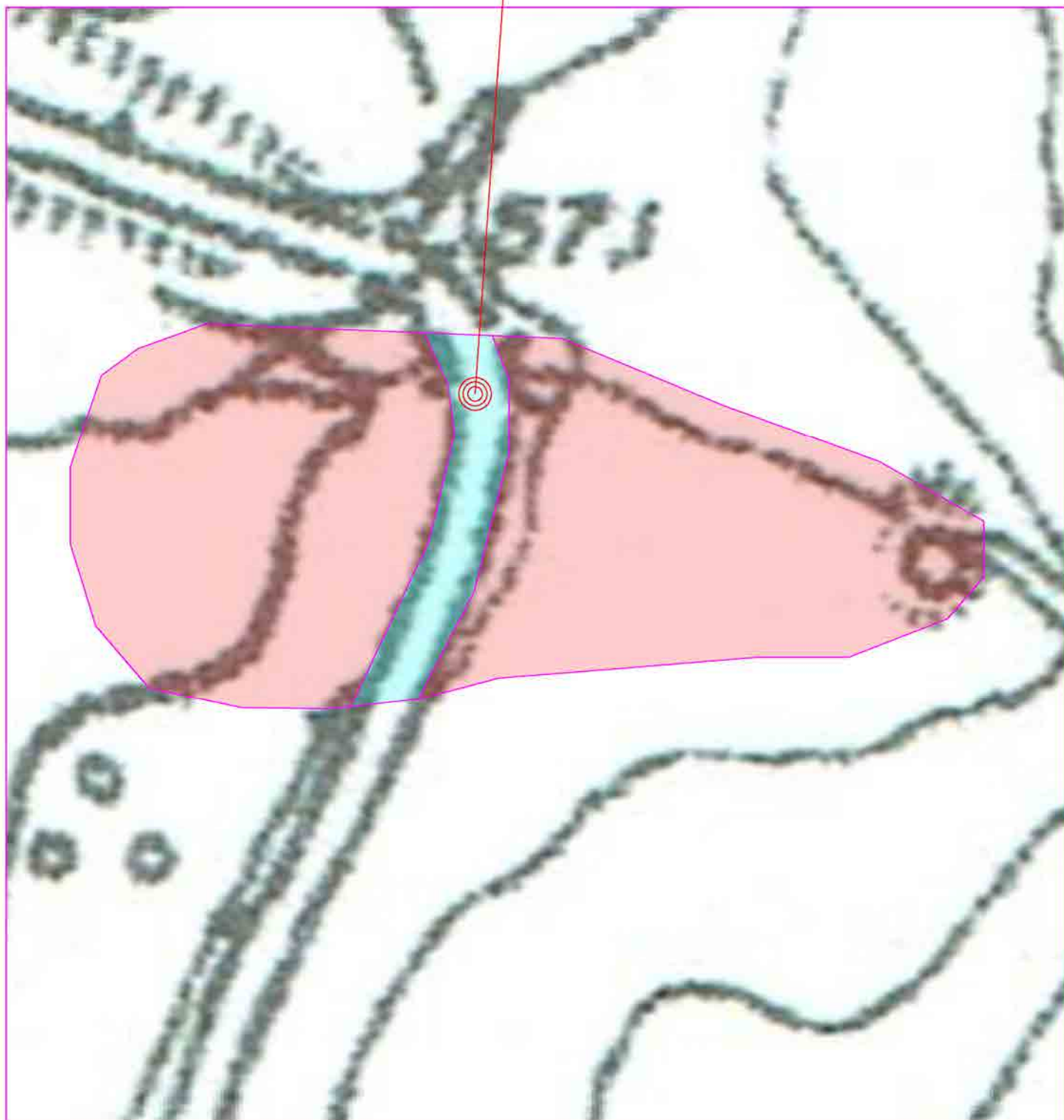
Planimetria dissesto n° 14
Scala 1:250

- S14 I — S14' Ubicazione Stendimento Sismico
- C3 Ubicazione Carotaggio Geognostico
- R — R' Profilo Geolitologico



Planimetria frana nel suo insieme
Scala 1:1.000

Tratto S.P. 52 coinvolto



SONDAGGI MECCANICI A ROTAZIONE








| | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|--|---|--|-------------------|--|---|---------------------|---------------------|------|
| Località San Mauro Castelverde S.P. 52 | | Quota s.l.m. 60,00 | | Data 26 Marzo 2021 | | Sondaggio C 3 | | | | |
| Committente: Comune di Geraci Siculo | | | | Cantiere: Interventi S.P. 52 e S.P. 60 | | Scala 1:100 | | | | |
| Profondità progressiva in metri | Spessore in metri | Sezione strat. | Descrizione litologica del terreno | Carotaggio in % | Quota campioni | Piezometro | Falda in m. dal p.c. | N.S.P.T. | | |
| | | | | | | | | Profondità prova | Infissione in cm | Nspt |
| 2,70 | 2,70 |  | Rilevato stradale: Materiale eterogeneo costituito da sabbia con frequenti ciottoli. | | |  | 5,20 | da m 3,00 | 15 | 6 |
| | | | | | | | | 15 | 4 | |
| 9,30 | |  | Flysch Numidico. Argille con intercalazione di sabbie. Colore marrone scuro. Tra 5,10 e 8,70 prevalenza netta di strati arenatici, conglomeratici, sabbiosi e ciottolosi. Presenza di acqua | | |  |  | da m 3,45 | 15 | 4 |
| | | | | | | | | da m 5,00 | 15 | 2 |
| | | | | | | | | | 15 | 4 |
| | | | | | | | | da m 5,45 | 15 | 8 |
| | | | | | | | | da m 12,00 | 15 | 24 |
| | | | | | | | | | 15 | 28 |
| | | | | | | | | da m 12,45 | 15 | 45 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 12,00 | | | Fine perforazione | | |  | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 25,00 | | | | | |  | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Foto n° 17
ESECUZIONE CAROTAGGIO GEOGNOSTICO C3





Foto n° 18

CASSETTE CATALOGATRICI SONDAGGIO C3



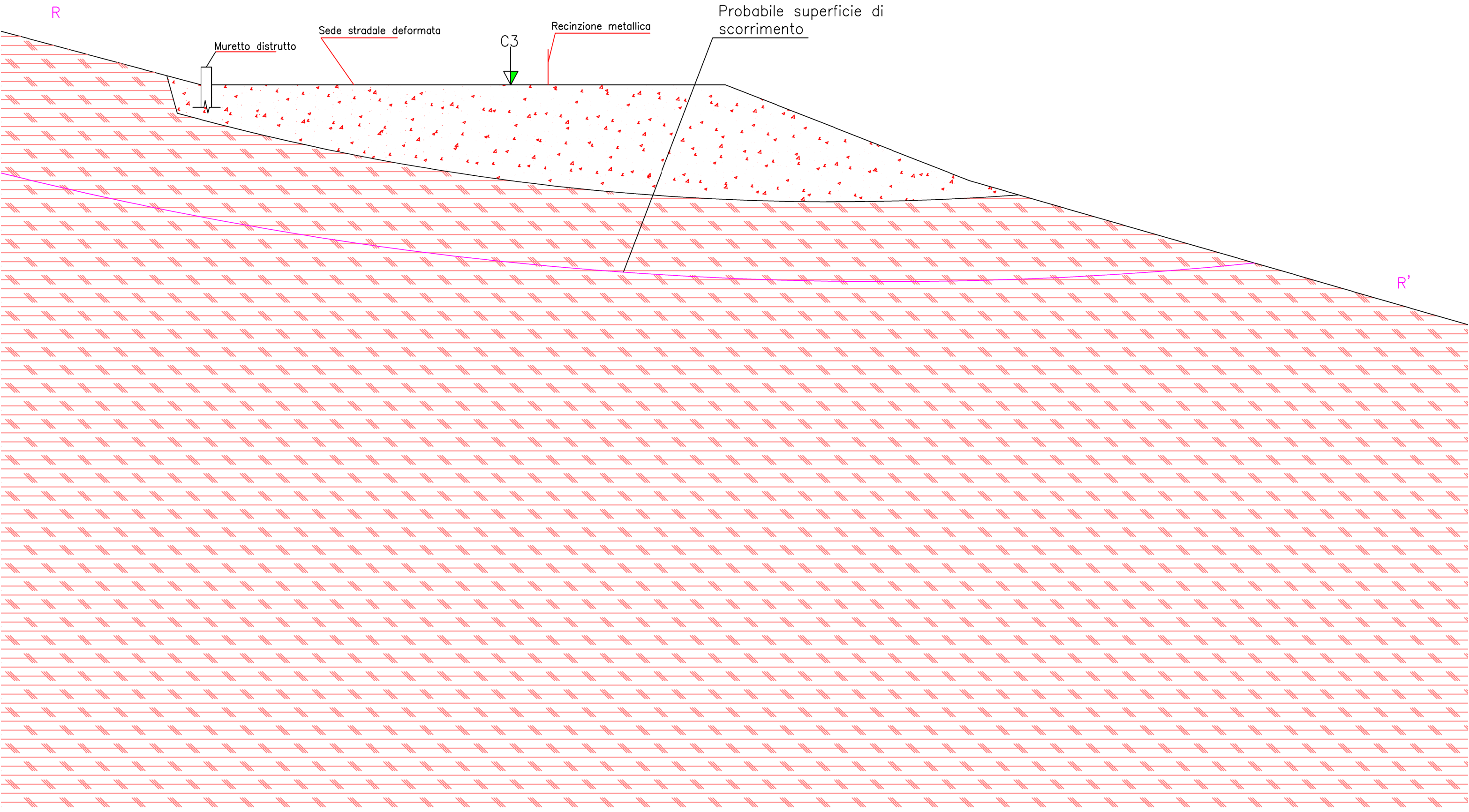
Dissesto n° 14
Profilo Geolitologico R-R'
Scala 1:100

- 

Rilevato antropico frammisto a detrito. Sabbie e ghiaie in una matrice limosa, poco addensate
 $\phi = 23^\circ$, $g = 1,900 \text{ g/cc}$, $E' = 30-40 \text{ Kg/cmq}$; $C' = 0,10 \text{ Kg/cmq}$, $C_u = 0,15 \text{ Kg/cmq}$
- 

Flysch NUmidico. Alternanza di argille, e quarzareniti di colore marrone chiaro.
 $\phi = 27^\circ$, $g = 2,000 \text{ g/cc}$, $E' = 70-80 \text{ Kg/cmq}$; $C' = 0,15 \text{ Kg/cmq}$, $C_u = 0,20 \text{ Kg/cmq}$

Categoria sottosuolo "E"
Categoria topografica "T2"



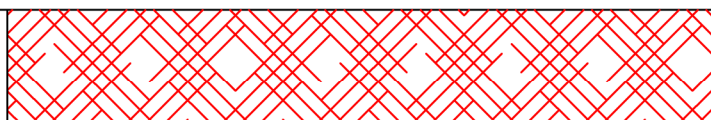
COMUNE DI GERACI SICULO
PROVINCIA DI PALERMO

STUDIO GEOLOGICO – TECNICO

OGGETTO:
"INTERVENTO DI SISTEMAZIONE DEL PIANO VIARIO
DELLE STRADE SAN MAURO CASTELVERDE–GANGI
S. P. N° 52 E N° 60"

Committente: Comune di Geraci Siculo

Data
Aprile 2021



TAV. 3

Elaborato:
Indagini Sismiche

Visti

I Geologi
Dott. Francesco Munafò

Dott. Alberto Fortunato De Salvatore

COMUNE DI GERACI SICULO
CITTÀ METROPOLITANA DI PALERMO

*Interventi di sistemazione del piano viario delle strade San Mauro Castelverde –
Gangi S.P. 52 e S.P. 60*

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

SOMMARIO

| | |
|--|-----|
| 1. PREMESSA _____ | 1 |
| 2. INDAGINI GEOFISICHE _____ | 7 |
| Strumentazione utilizzata _____ | 7 |
| Prova Sismica Multicanale MASW _____ | 7 |
| Prova Sismica a Rifrazione in Onde P _____ | 9 |
| 3. ELABORAZIONE DATI E RISULTATI _____ | 12 |
| 3.1 Risultati Prove MASW _____ | 12 |
| 3.2 Risultati Prova a Rifrazione in Onde P _____ | 69 |
| 4. REPORT FOTOGRAFICO _____ | 102 |

1. PREMESSA

Il presente documento riferisce sulle prove geofisiche, di tipo sismico attivo, condotte ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni nell'ambito dello studio geologico riguardante gli ***“Interventi di sistemazione del piano viario delle strade San Mauro Castelverde – Gangi S.P. 52 e S.P. 60”*** ricadenti nel comune di San Mauro Castelverde e Geraci Siculo.

Come meglio descritto all'interno della Relazione Geologico – Tecnica, le indagini geofisiche integrate sono state eseguite all'interno delle aree interessate dai dissesti (*Figure da 1 a 14*).

Al fine di individuare le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018), sono state effettuate:

- n° 14 Prospezioni Sismiche MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*);
- n° 14 Prospezione di Sismica a Rifrazione in Onde P.

| INDAGINI GEOFISICHE | | | |
|---------------------|--------------|---------------------------------------|---------------|
| Data | Numero | Tipologia di Indagine | Località |
| 24/03/2021 | MASW_1 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 1” |
| 20/03/2021 | MASW_2 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 2” |
| 20/03/2021 | MASW_3 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 3” |
| 24/03/2021 | MASW_4 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 4” |
| 20/03/2021 | MASW_5 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 5” |
| 20/03/2021 | MASW_6 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 6” |
| 20/03/2021 | MASW_7 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 7” |
| 24/03/2021 | MASW_8 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 8” |
| 24/03/2021 | MASW_9 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 9” |
| 24/03/2021 | MASW_10 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 10” |
| 24/03/2021 | MASW_11 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 11” |
| 24/03/2021 | MASW_12 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 12” |
| 24/03/2021 | MASW_13 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 13” |
| 24/03/2021 | MASW_14 | Sismica Attiva MASW | “Dissesto 14” |
| 24/03/2021 | RIFRAZIONE_1 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 1” |
| 20/03/2021 | RIFRAZIONE_2 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 2” |
| 20/03/2021 | RIFRAZIONE_3 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 3” |
| 24/03/2021 | RIFRAZIONE_4 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 4” |
| 20/03/2021 | RIFRAZIONE_5 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 5” |

| | | | |
|------------|---------------|---------------------------------------|---------------|
| 20/03/2021 | RIFRAZIONE_6 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 6” |
| 20/03/2021 | RIFRAZIONE_7 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 7” |
| 24/03/2021 | RIFRAZIONE_8 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 8” |
| 24/03/2021 | RIFRAZIONE_9 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 9” |
| 24/03/2021 | RIFRAZIONE_10 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 10” |
| 24/03/2021 | RIFRAZIONE_11 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 11” |
| 24/03/2021 | RIFRAZIONE_12 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 12” |
| 24/03/2021 | RIFRAZIONE_13 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 13” |
| 24/03/2021 | RIFRAZIONE_14 | Sismica Attiva a Rifrazione in Onde P | “Dissesto 14” |



Figura 1: Ubicazione Prospezioni Sismiche “Dissesto 1”



Figura 2: Ubicazione Prospezioni Sismiche “Dissesto 2”

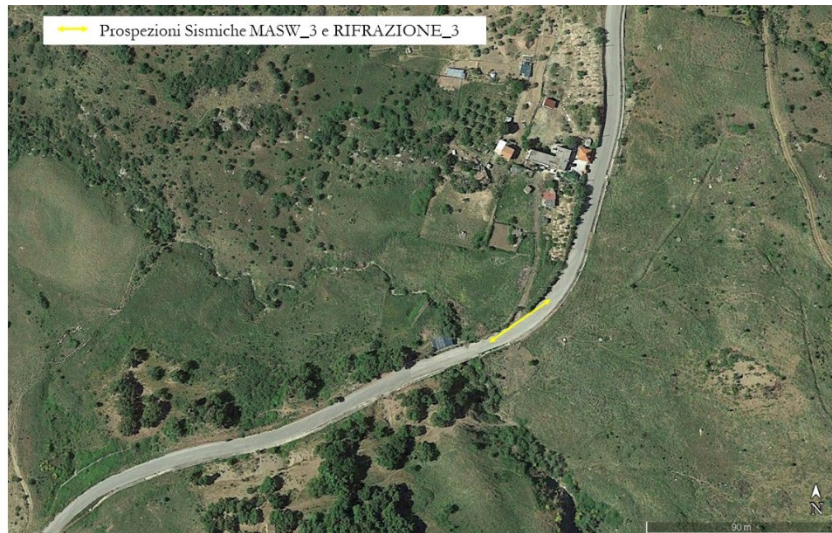


Figura 3: Ubicazione Prospezioni Sismiche "Dissesto 3"



Figura 4: Ubicazione Prospezioni Sismiche "Dissesto 4"



Figura 5: Ubicazione Prospezioni Sismiche "Dissesto 5"



Figura 6: Ubicazione Prospezioni Sismiche "Dissesto 6"



Figura 7: Ubicazione Prospezioni Sismiche "Dissesto 7"



Figura 8: Ubicazione Prospezioni Sismiche "Dissesto 8"



Figura 9: Ubicazione Prospezioni Sismiche "Dissesto 9"



Figura 10: Ubicazione Prospezioni Sismiche "Dissesto 10"



Figura 11: Ubicazione Prospezioni Sismiche "Dissesto 11"



Figura 12: Ubicazione Prospezioni Sismiche “Dissesto 12”

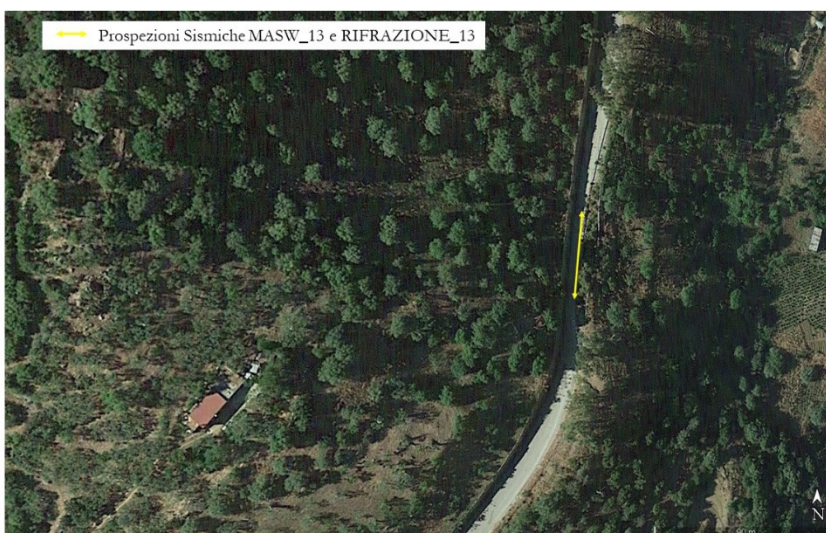


Figura 13: Ubicazione Prospezioni Sismiche “Dissesto 13”



Figura 14: Ubicazione Prospezioni Sismiche “Dissesto 14”

2. INDAGINI GEOFISICHE

Strumentazione utilizzata

Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di un sismografo M.A.E. Sysmatrack 24 bit 24 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor) - M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) - S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)].



Figura 15: Sismografo M.A.E. Sysmatrack

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione), unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise). La gestione dell'apparecchiatura avviene tramite un Notebook collegato al sismografo per mezzo di un cavo USB.

Le prospezioni sismiche con il metodo attivo MASW e Rifrazione in onde P, sono state eseguite impiegando il medesimo array geofonico. La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra posizionata alla distanza di 2m dal primo geofono. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz).

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con appositi programmi (PsLab della MAE e EasyMASW della GeoStru) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Prova Sismica Multicanale MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P, S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

È possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Prova Sismica a Rifrazione in Onde P

Questo metodo, di semplice applicazione, è utilizzabile nel caso di strati orizzontali o con inclinazione uniforme e in presenza di una superficie topografica, almeno lungo lo stendimento, orizzontale. Si parte inoltre dal presupposto che la velocità dei rifrattori aumenti con la profondità. In pratica si dovrà verificare che la velocità delle onde P nel primo strato sia minore della velocità delle onde P nel secondo, a sua volta inferiore a quella del terzo, ecc. ($V_1 < V_2 < V_3$).

Strati con interfaccia orizzontale

Consideriamo il caso di due strati con profilo orizzontale, caratterizzati dalle velocità V_1 e V_2 . Se S è la sorgente di energia e G è il geofono ricevitore il tempo necessario, perché il segnale copra la distanza SG (= x) viaggiando nel primo strato (onde dirette) sarà:

$$t = \frac{x}{V_1}$$

Oltre alle onde dirette, al geofono giungeranno anche le onde rifratte dal secondo strato. In questo caso il tempo necessario perché il segnale rifratto venga ricevuto è:

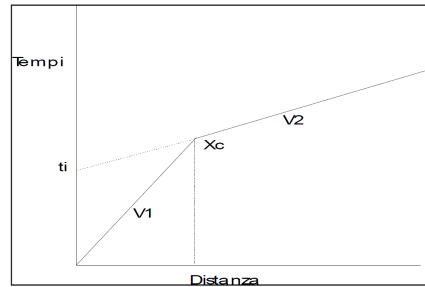
$$t = \frac{x}{V_2} + \frac{2h}{V_1} \cos \alpha_{12}$$

dove h è lo spessore dello strato e α è l'angolo limite di incidenza. La quantità

$$\frac{h}{V_1} \cos \alpha_{12}$$

viene detto tempo di ritardo o delay time.

Ponendo su grafico in ascissa la distanza dei geofoni dello stendimento dalla sorgente e in ordinata i tempi di arrivo del segnale ai singoli ricevitori, si ottengono due segmenti retti (dromocrone), con il secondo tratto meno inclinato del primo.



I reciproci dei coefficienti angolari delle due dromocrone corrispondono alle velocità delle onde P nei due strati (V_1 e V_2). Il rapporto fra le due fornisce il valore dell'angolo limite:

$$\alpha_{12} = \arcsen\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

La profondità del secondo strato può essere ricavata attraverso la determinazione del tempo intercetto del secondo strato o dell'ascissa del punto ginocchio. Il tempo intercetto si ottiene estrapolando la dromocrona fino ad intercettare l'asse dei tempi. In pratica corrisponde al tempo di arrivo del segnale rifratto per $x=0$:

$$t_i = \frac{2h}{V_1} \cos \alpha_{12}$$

e quindi è uguale al doppio del tempo di ritardo. Quindi lo spessore è dato da:

$$h = \frac{t_i V_1}{2 \cos \alpha_{12}}$$

Il punto ginocchio corrisponde alla distanza alla quale arrivano contemporaneamente le onde dirette e le onde rifratte. Nel grafico coincide all'ascissa in cui giace l'intersezione delle due dromocrone. Noto x_c lo spessore del primo strato si ricava dalla relazione:

$$h = \frac{x_c}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

Nel caso di più di due strati la procedura è analoga. Il tempo di arrivo al geofono G delle onde rifratte dall'interfaccia dello strato n è fornito dalla relazione

$$t_n = \frac{x}{V_n} + \frac{2h_{n-1}}{V_{n-1}} \cos \alpha_{n-1,n} + \dots + \frac{2h_1}{V_1} \cos \alpha_{1,n}$$

Anche in questo caso le velocità dei singoli rifrattori si ottengono, calcolando il reciproco del coefficiente angolare di ogni dromocrona e i valori degli angoli limite dal rapporto delle velocità

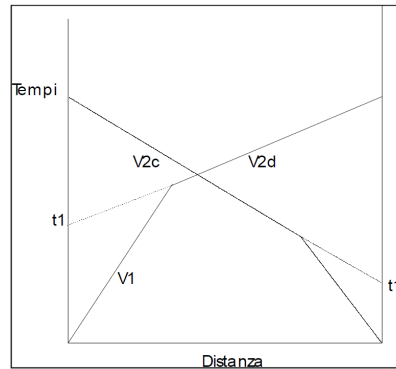
$$\alpha_{n-1,n} = \arcsen\left(\frac{V_{n-1}}{V_n}\right)$$

Per il calcolo degli spessori dei singoli strati si procede come indicato di seguito:

- si stimano i tempi intercetti di ogni dromocrona;
- si calcola lo spessore del primo strato con la relazione: $h_1 = \frac{t_1 V_1}{2 \cos \alpha_{12}}$ dove t_1 è il tempo intercetto della dromocrona relativa al secondo rifrattore;
- si calcola lo spessore del secondo strato con la relazione $h_2 = \frac{t_2 V_2}{2 \cos \alpha_{12}} - \frac{2h_1}{V_1} \cos \alpha_{13}$ dove h_1 è lo spessore del primo strato, ricavato in precedenza, e t_2 il tempo intercetto del terzo rifrattore;
- si procede analogamente per gli strati rimanenti.

Strati con interfaccia inclinata

Nel caso il limite fra due strati non sia orizzontale, si introduce nel calcolo una nuova incognita, l'angolo β che il piano di strato forma con l'orizzontale. In questa situazione bisogna operare con due sorgenti (S e S') posizionate agli estremi opposti dello stendimento. Si otterranno quindi, nel grafico distanza-tempi, due serie di dromocrone: quelle relative alle onde che viaggiano da S verso S' (tiro diretto) e quelle corrispondenti al percorso inverso (da S' a S – tiro coniugato).



Le formula che fornisce il tempo di arrivo delle onde rifratte, viste nel paragrafo precedente, è ancora valida, ma, nel caso di due strati, va riscritta come segue

$$t = \frac{x}{V_2} \cos \beta + \frac{2h}{V_1} \cos \alpha_{12}$$

dove Z è la distanza minima fra la sorgente S e la base del primo strato e z , analogamente, la distanza minima fra la sorgente S' e la base del primo strato. Z e z quindi non corrispondono alle profondità del rifrattore.

I reciproci dei coefficienti angolari delle dromocrone delle onde rifratte lungo l'interfaccia del secondo strato non forniscono le velocità reali dei rifrattori; sono però collegate ad esse dalle relazioni:

$$V_{2d} = \frac{V_1}{\sin(\alpha - \beta)} \quad \text{e} \quad V_{2c} = \frac{V_1}{\sin(\alpha + \beta)}$$

Queste due formule combinate permettono di ricavare le grandezze β e α , essendo V_1 nota. Dalla relazione $\sin\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$ è possibile quindi ricavare V_2 . I tempi intercetti delle dromocrone relative allo strato 2 possono essere espresse dalle formule:

$$t_1 = \frac{2Z}{V_1} \cos \alpha \text{ (tiro diretto)} \quad t'_1 = \frac{2z}{V_1} \cos \alpha \text{ (tiro coniugato)}$$

Le grandezze Z e z possono essere ricavate quindi dalle espressioni:

$$Z = \frac{t_1 V_1}{\cos \alpha} \quad \text{e} \quad z = \frac{t'_1 V_1}{\cos \alpha}$$

Noto β , H e h (spessore del primo strato in corrispondenza di S e S') possono essere ricavate infine con le relazioni:

$$H = \frac{Z}{\cos \beta} \quad \text{e} \quad h = \frac{z}{\cos \beta}$$

La procedura esposta può ovviamente essere estesa al caso di n strati, con i passaggi già visti per il caso di rifrattori orizzontali.

Metodo reciproco generalizzato (G.R.M.)

Nel caso in cui la morfologia del rifrattore sia irregolare è possibile utilizzare il metodo reciproco generalizzato (G.R.M.) (Palmer, 1980). Questa metodologia interpretativa consente di ricostruire l'andamento di strati di forma qualsiasi, anche nel caso di variazioni laterali di velocità. Questa maggiore versatilità però ha come prezzo una superiore complessità operativa, richiedendo un maggior numero di sorgenti di energia, posizionate ai due estremi e internamente allo stendimento. Infatti, per poter ricostruire l'andamento dell'interfaccia di strato lungo tutto lo stendimento, è necessario che i segnali provenienti dal singolo rifrattore siano ricevuti da tutti i geofoni messi in opera. Il grafico distanza-tempi che si ottiene è considerevolmente più complesso rispetto al caso del metodo convenzionale. L'interpretazione del grafico distanza-tempi prevede la ricostruzione delle dromocrone relative ai singoli strati e quindi la stima delle velocità e delle profondità di ogni singolo rifrattore.

3. ELABORAZIONE DATI E RISULTATI

3.1 Risultati Prove MASW

Le prove sono state eseguite effettuando energizzazioni ai due lati opposti dello stendimento, utilizzando il medesimo array geofonico, al fine di confrontare i risultati. Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=2048\text{ms}$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=1.0\text{ms}$.

Di seguito sono descritti i risultati delle indagini geofisiche svolte.

MASW_1

| | |
|---------------------------|-----|
| N. tracce | 24 |
| Interdistanza geofoni [m] | 2.0 |

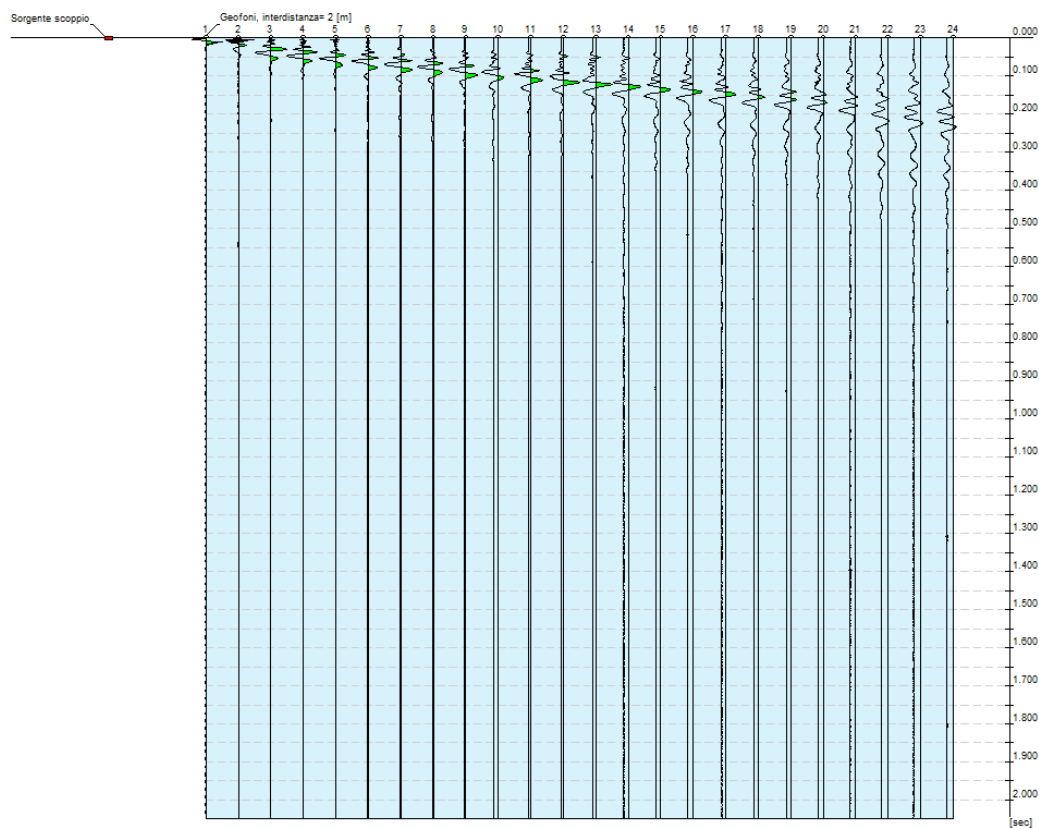


Figura 16: Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW_1

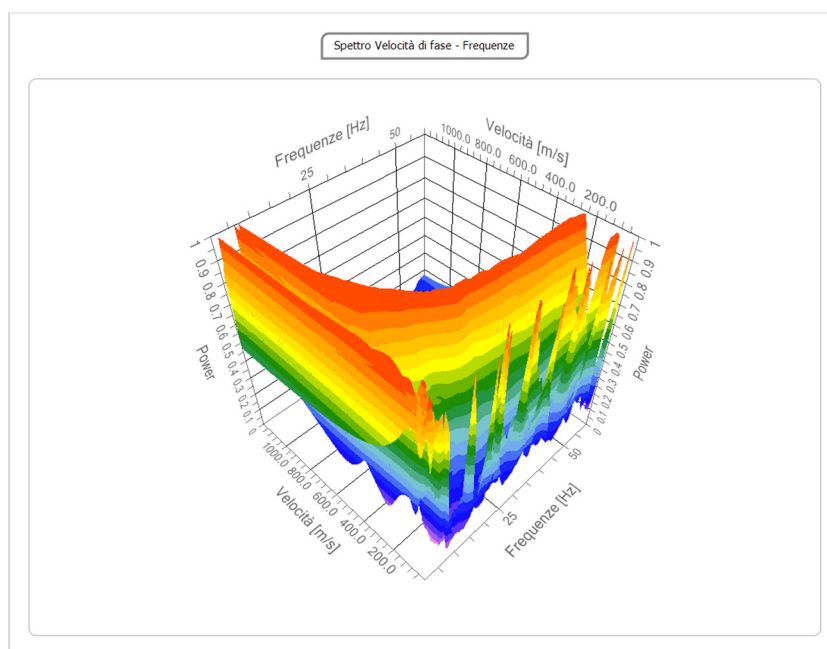


Figura 17: Spettro Velocità di fase – Frequenze vista 3D relativo all'indagine Sismica MASW_1

Curva di dispersione

| n. | Frequenza [Hz] | Velocità [m/sec] | Modo |
|----|----------------|------------------|------|
| 1 | 12.2 | 542.9 | 0 |
| 2 | 17.9 | 386.0 | 0 |
| 3 | 24.4 | 312.4 | 0 |
| 4 | 33.3 | 283.0 | 0 |
| 5 | 45.2 | 270.7 | 0 |
| 6 | 57.6 | 263.4 | 0 |

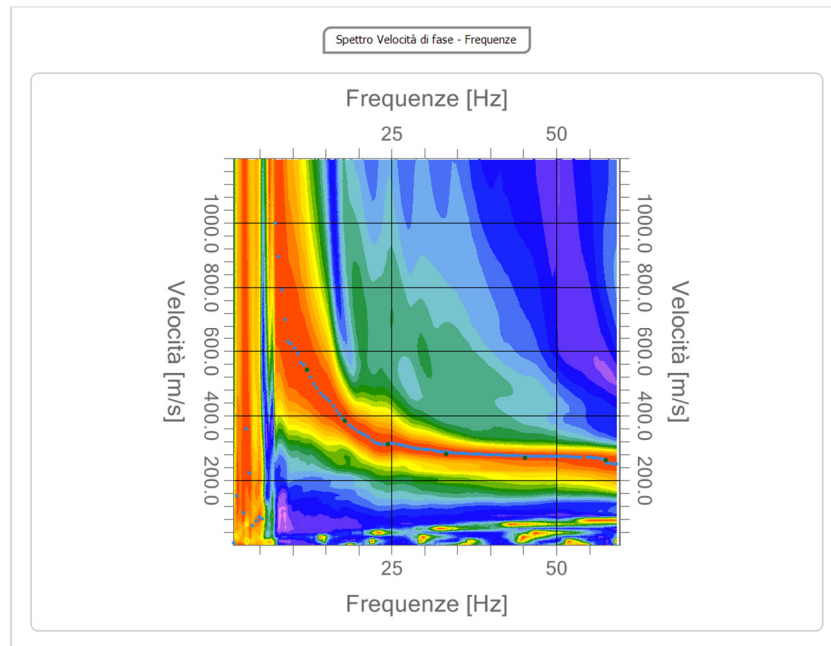


Figura 18: Spettro Velocità di fase – Frequenze relativo all'indagine Sismica MASW_1

Inversione

| n. | Descrizione | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso unità volume [kg/mc] | Coefficiente Poisson | Falda | Vp [m/sec] | Vs [m/sec] |
|----|-------------|----------------|--------------|---------------------------|----------------------|-------|------------|------------|
| 1 | | 3.67 | 3.67 | 1800.0 | 0.20 | No | 466.8 | 285.9 |
| 2 | | 8.59 | 4.92 | 1900.0 | 0.20 | No | 603.0 | 369.2 |
| 3 | | oo | oo | 2000.0 | 0.30 | No | 1505.9 | 804.9 |

Percentuale di errore 0.000 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.002

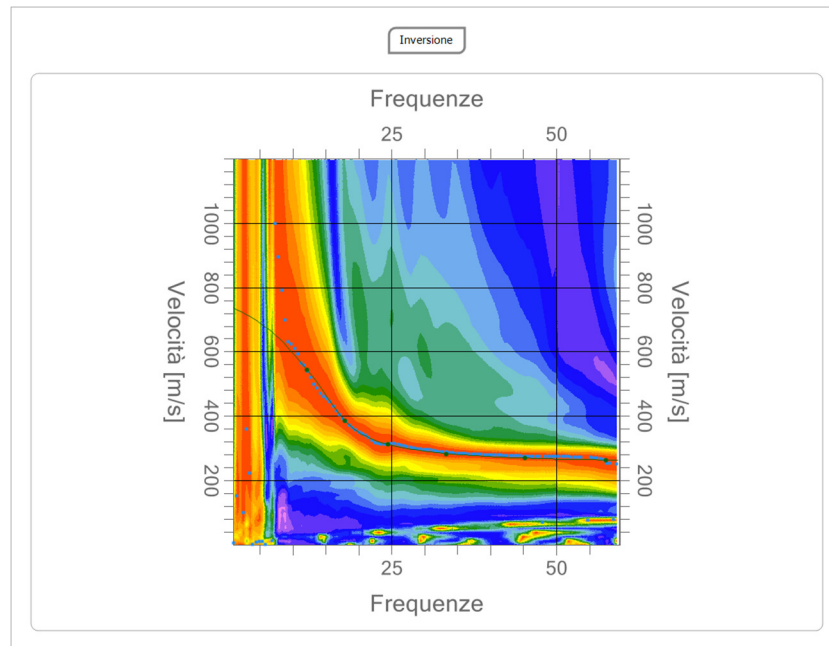


Figura 19: Inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh relativa all'indagine Sismica MASW_1

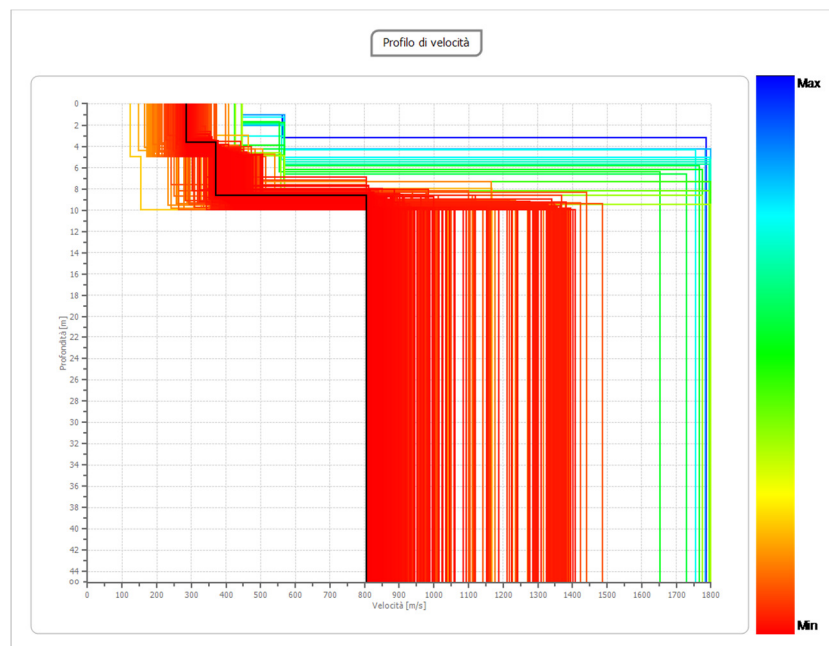


Figura 20: Profilo di velocità Vs verticale relativo all'indagine Sismica MASW_1

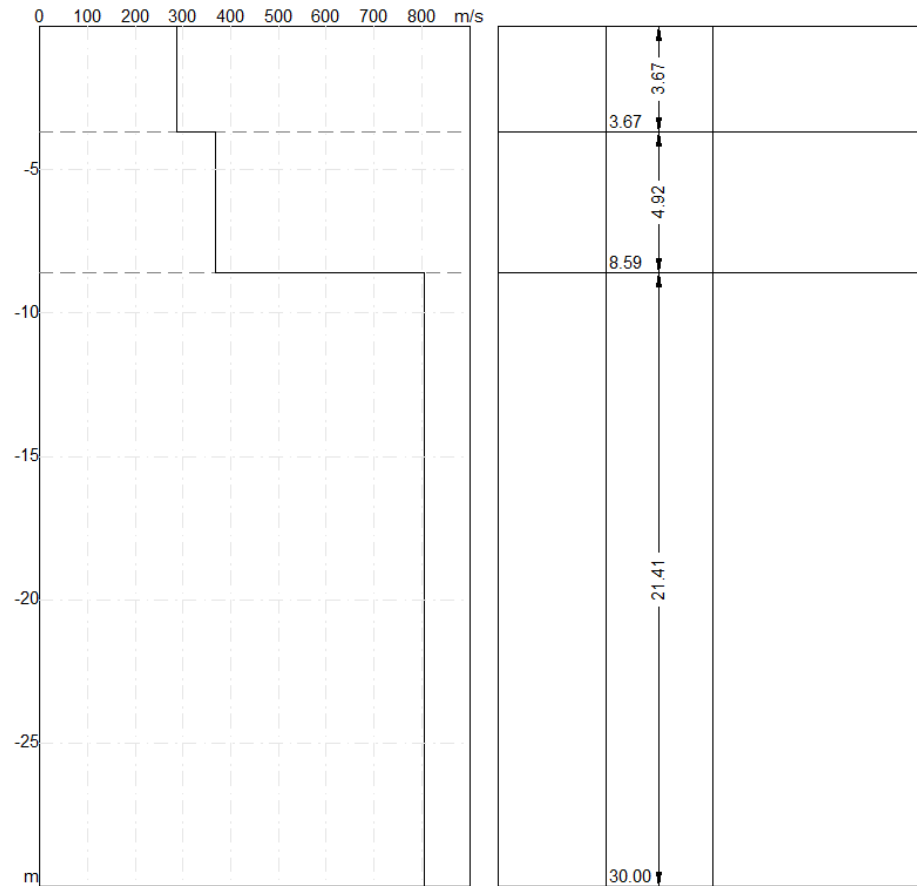


Figura 21: Profilo sismostratigrafico relativo all'indagine Sismica MASW_1

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai sensi delle nuove “*Norme Tecniche delle Costruzione*” introdotte dal D.M. del 17 gennaio 2018, dall'esame del profilo di velocità ed in base alle risultanze dei dati sismici si può arrivare a fornire i seguenti elementi progettuali:

| | |
|--------------------------------------|--------|
| $V_{s,eq}$ [m/sec] | 328.37 |
| Categoria del suolo | E |

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

MASW_2

| | |
|---------------------------|-----|
| N. tracce | 24 |
| Interdistanza geofoni [m] | 2.0 |

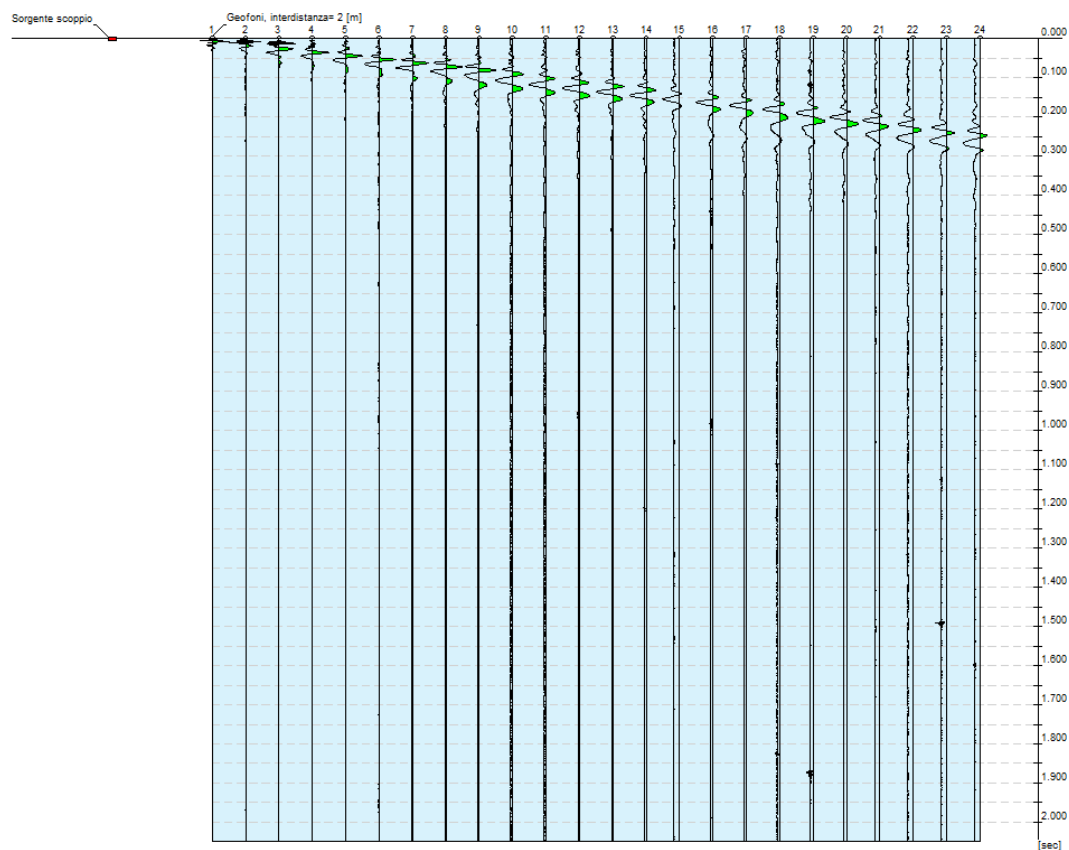


Figura 22: Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW_2

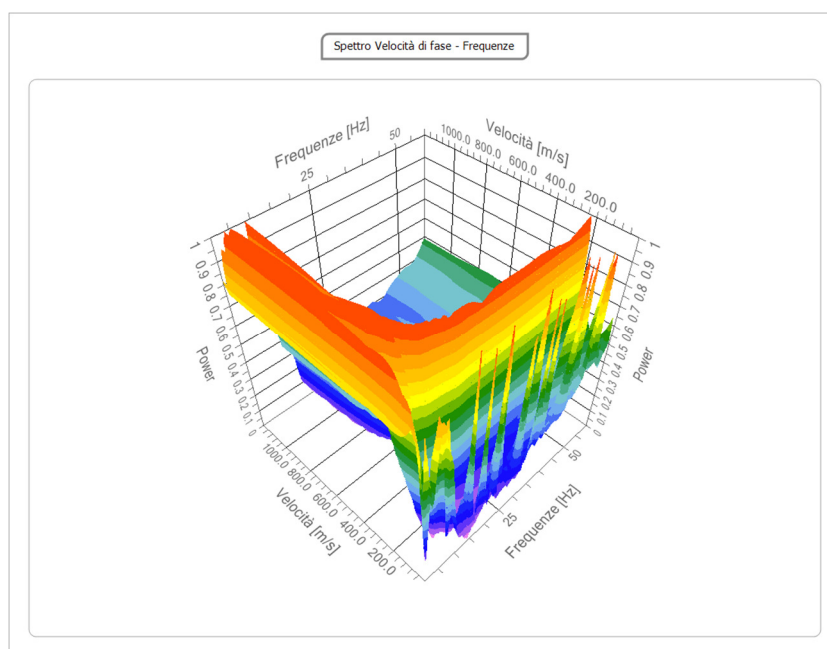


Figura 23: Spettro Velocità di fase – Frequenze vista 3D relativo all'indagine Sismica MASW_2

Curva di dispersione

| n. | Frequenza [Hz] | Velocità [m/sec] | Modo |
|----|----------------|------------------|------|
| 1 | 9.0 | 390.9 | 0 |
| 2 | 11.4 | 285.4 | 0 |
| 3 | 19.5 | 224.1 | 0 |
| 4 | 28.4 | 214.3 | 0 |
| 5 | 44.9 | 210.1 | 0 |
| 6 | 56.5 | 210.1 | 0 |

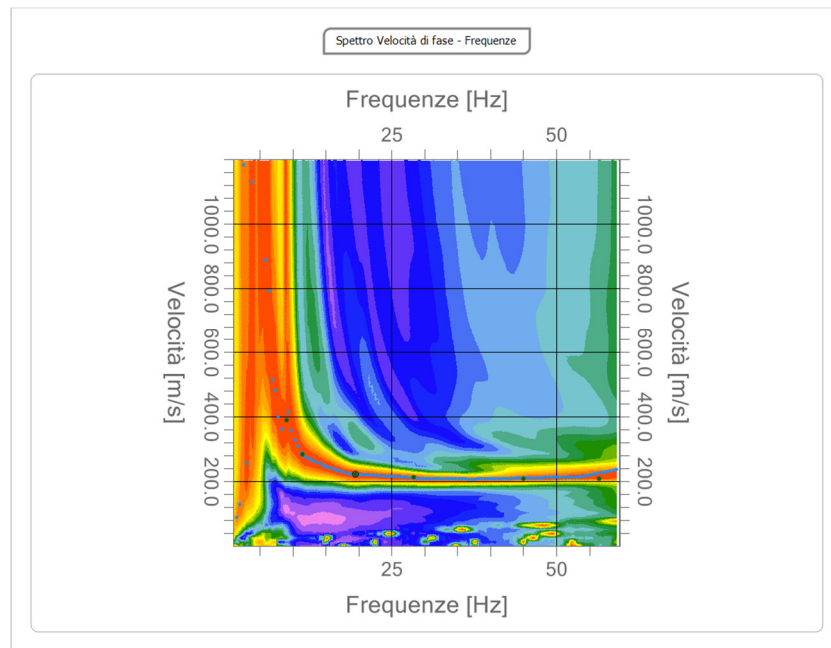


Figura 24: Spettro Velocità di fase – Frequenze relativo all'indagine Sismica MASW_2

Inversione

| n. | Descrizione | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso unità volume [kg/mc] | Coefficient e Poisson | Falda | Vp [m/sec] | Vs [m/sec] |
|----|-------------|----------------|--------------|---------------------------|-----------------------|-------|------------|------------|
| 1 | | 5.80 | 5.80 | 1800.0 | 0.20 | No | 377.2 | 231.0 |
| 2 | | 11.76 | 5.96 | 1900.0 | 0.20 | No | 485.9 | 297.6 |
| 3 | | oo | oo | 2000.0 | 0.20 | No | 1314.7 | 805.1 |
| | | | | | | | | |

Percentuale di errore 0.000 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.002

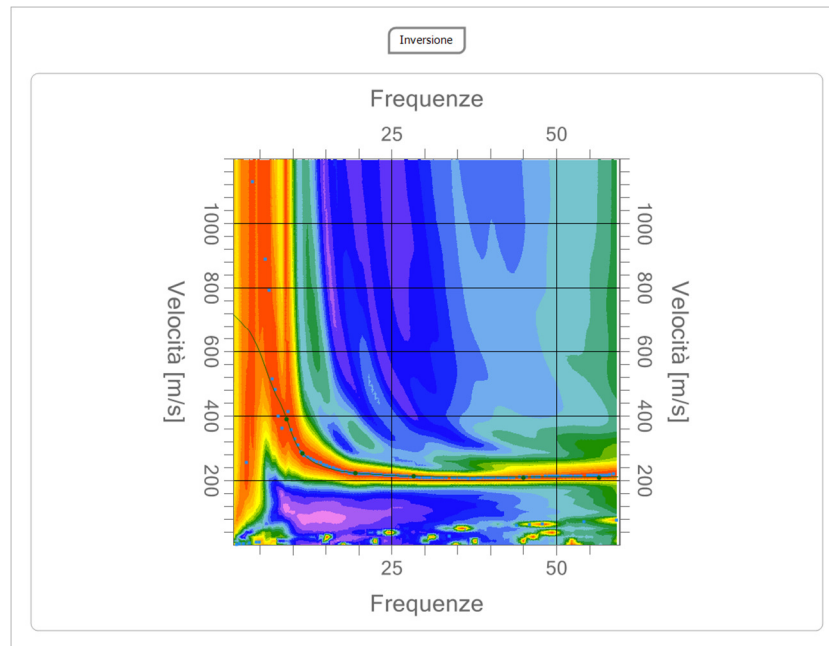


Figura 25: Inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh relativa all'indagine Sismica MASW_2

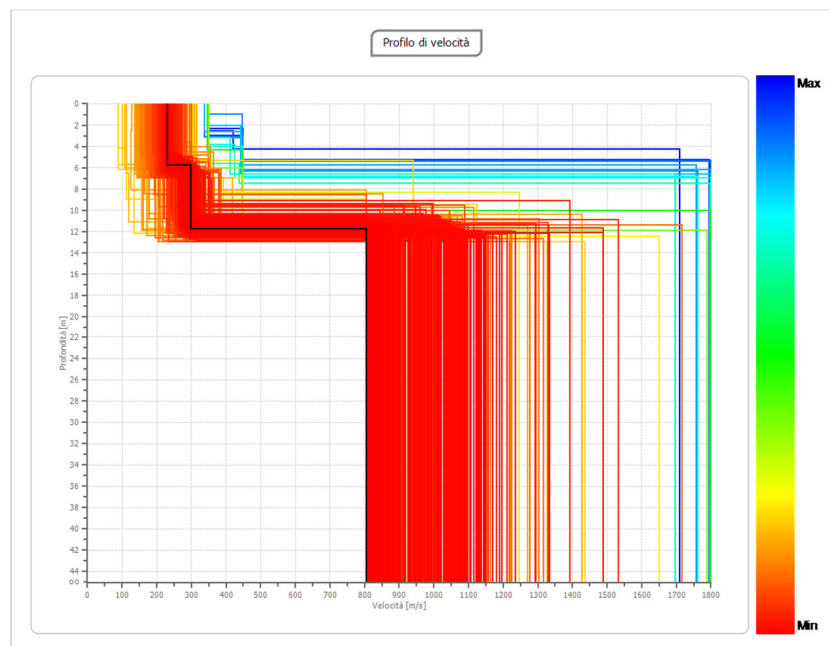


Figura 26: Profilo di velocità Vs verticale relativo all'indagine Sismica MASW_2

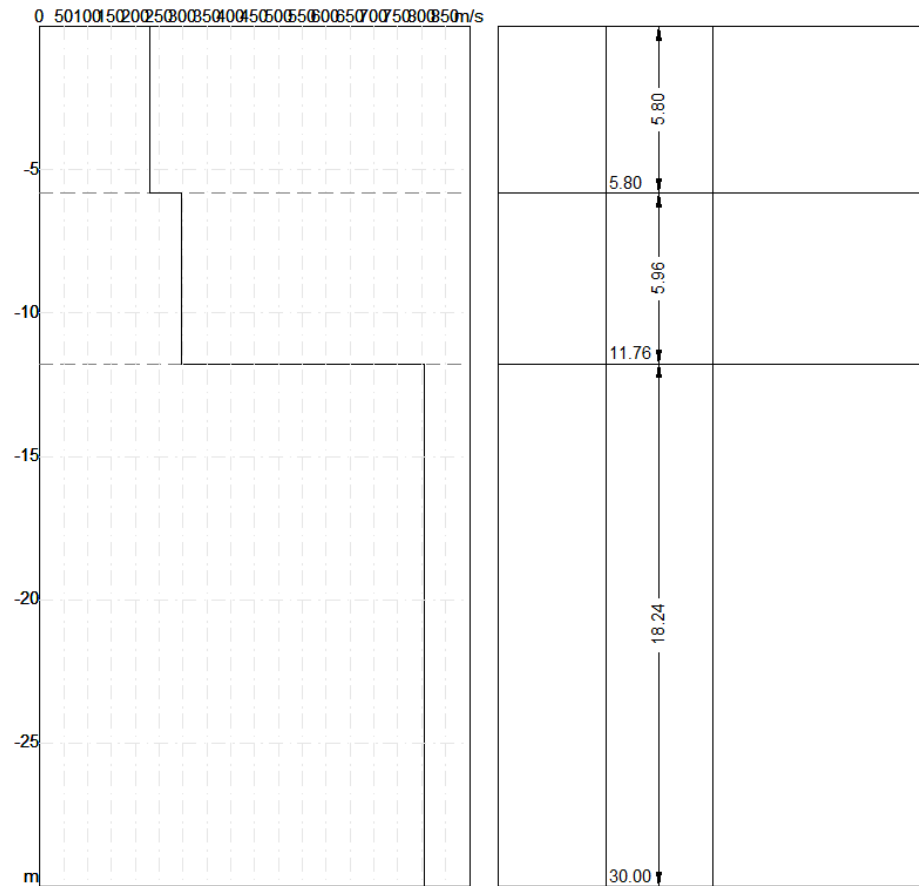


Figura 27: Profilo sismostratigrafico relativo all'indagine Sismica MASW_2

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai sensi delle nuove “*Norme Tecniche delle Costruzione*” introdotte dal D.M. del 17 gennaio 2018, dall'esame del profilo di velocità ed in base alle risultanze dei dati sismici si può arrivare a fornire i seguenti elementi progettuali:

| | |
|--------------------------------------|--------|
| $V_{s,eq}$ [m/sec] | 260.52 |
| Categoria del suolo | E |

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

MASW_3

| | |
|---------------------------|-----|
| N. tracce | 24 |
| Interdistanza geofoni [m] | 1.5 |

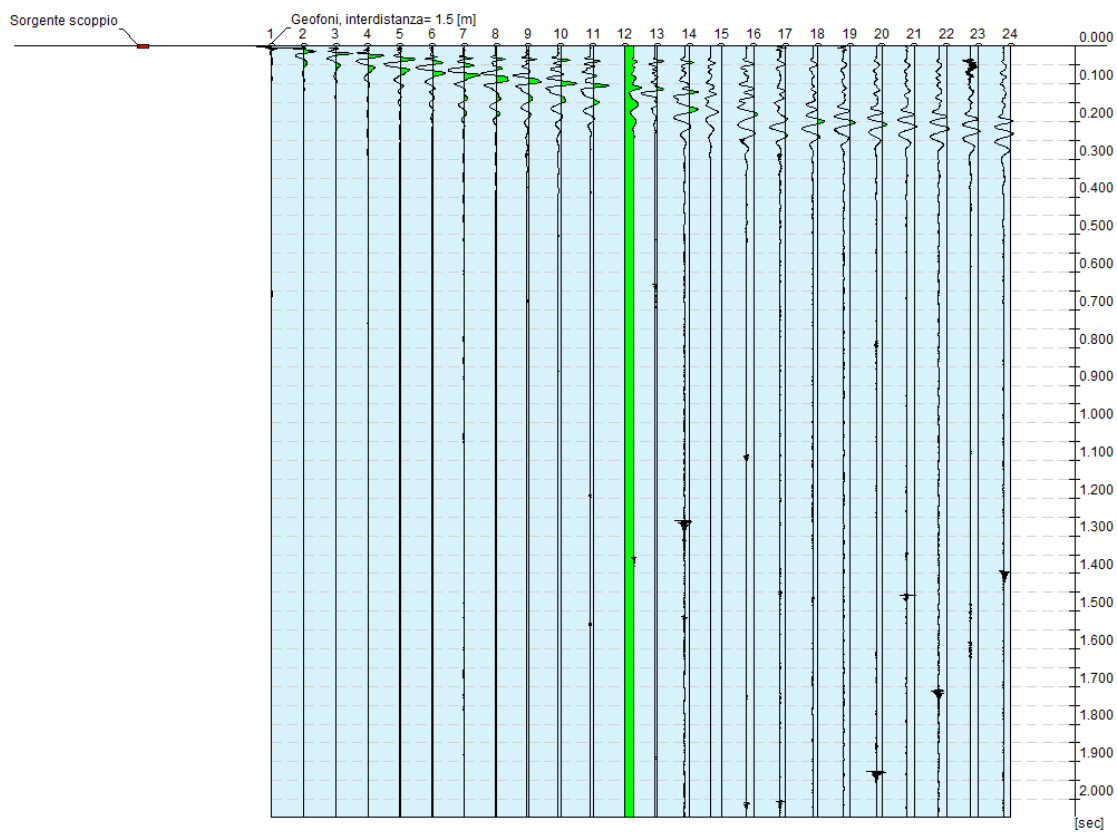


Figura 28: Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW_3

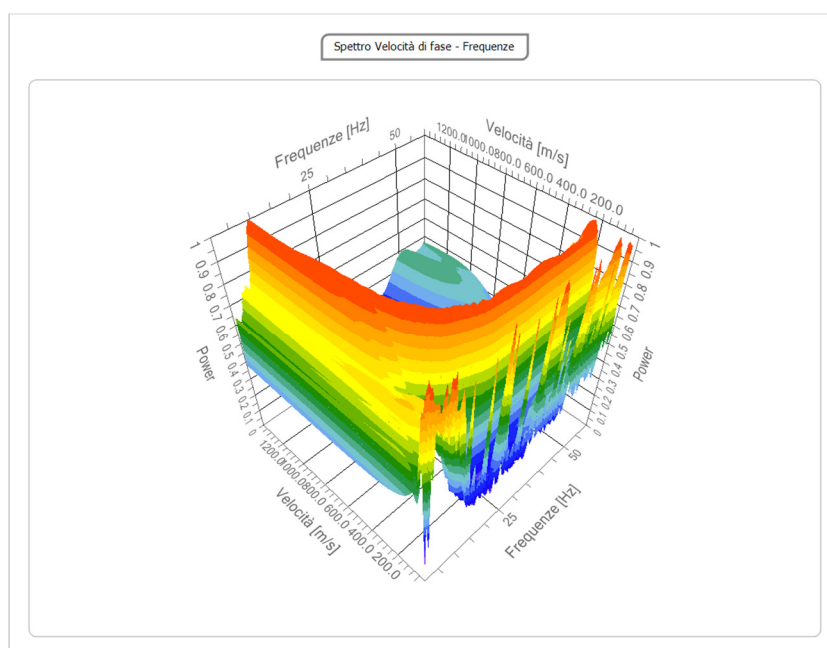


Figura 29: Spettro Velocità di fase – Frequenze vista 3D relativo all'indagine Sismica MASW_3