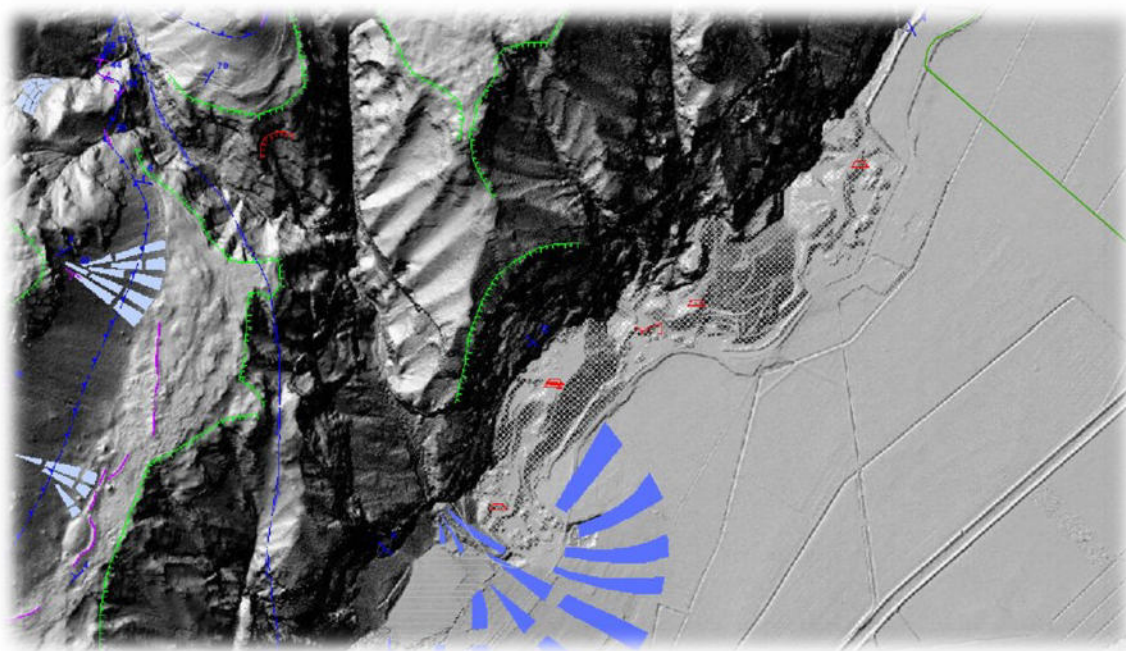


*Comune di Mezzocorona  
Provincia Autonoma di Trento  
Committente:  
Comune di Mezzocorona*

## **OGGETTO**

**COLTIVAZIONE DELLE CAVE DI PROPRIETÀ DEL COMUNE DI MEZZOCORONA  
CIG: B509D4AFA2**



## **ALLEGATO 1**

**REPORT PROVE GEOFISICHE GIACIMENTI LOTTI L1 – L1(C1)**



Via Mons. D. Caproni, 58  
38056 Levico Terme (Tn)



PEC [e.perina@geotasespec.it](mailto:e.perina@geotasespec.it)  
[perina.emilio@gmail.com](mailto:perina.emilio@gmail.com)



347 1663624

P.IVA 02303140228 / C.F. PRNMLE86M27L378K

**MAPPATURA QUASI TRIDIMENSIONALE  
DEL CONTATTO ROCCIA COPERTURA  
PER LA CUBATURA DEL  
GIACIMENTO NEL SITO STRATEGICO  
DELLE CAVE DI MEZZOCORONA**

**-Indagini geosismiche-**



**GG Service srl**  
**Prospezioni Geofisiche**  
Torbole s.G. (TN)  
Cell: 3407269656  
[infooggservice@gmail.com](mailto:infooggservice@gmail.com)

## 1. INTRODUZIONE

Con Determinazione n. 81 del 04 marzo 2024 il Comune di Mezzocorona ha richiesto delle prove geofisiche finalizzate a recuperare informazioni sull'andamento del contatto roccia/copertura dell'area strategica delle Cave di Mezzocorona. Cio' in relazione alla connessa progettualità della messa in sicurezza della sottostante SP21, con erezione di un vallotomo.

L'area della zona cave e' molto ampia (~80000mq) ed e' stata investigata con sezioni sismiche che dalla SP21 risalgono fino alle prime scarpate rocciose a base parete.

Al fine di calibrare i risultati sono state associate due tecniche sismiche tra loro disgiunte che prevedono una l'analisi dei tempi di primo arrivo (tomografia sismica) e l'altra l'analisi delle onde di superficie (Masw2D).

L'acquisizione dei dati e' unitaria ed eseguita per i tratti pianeggianti da un energizzazione accelerata da 30Kg e per quelli impervi lungo scarpata con mazza da 20Kg.

Nel complesso sono stati realizzati 4 profili lungo massima pendenza ed uno di collegamento dei primi 3 per totali 945m.

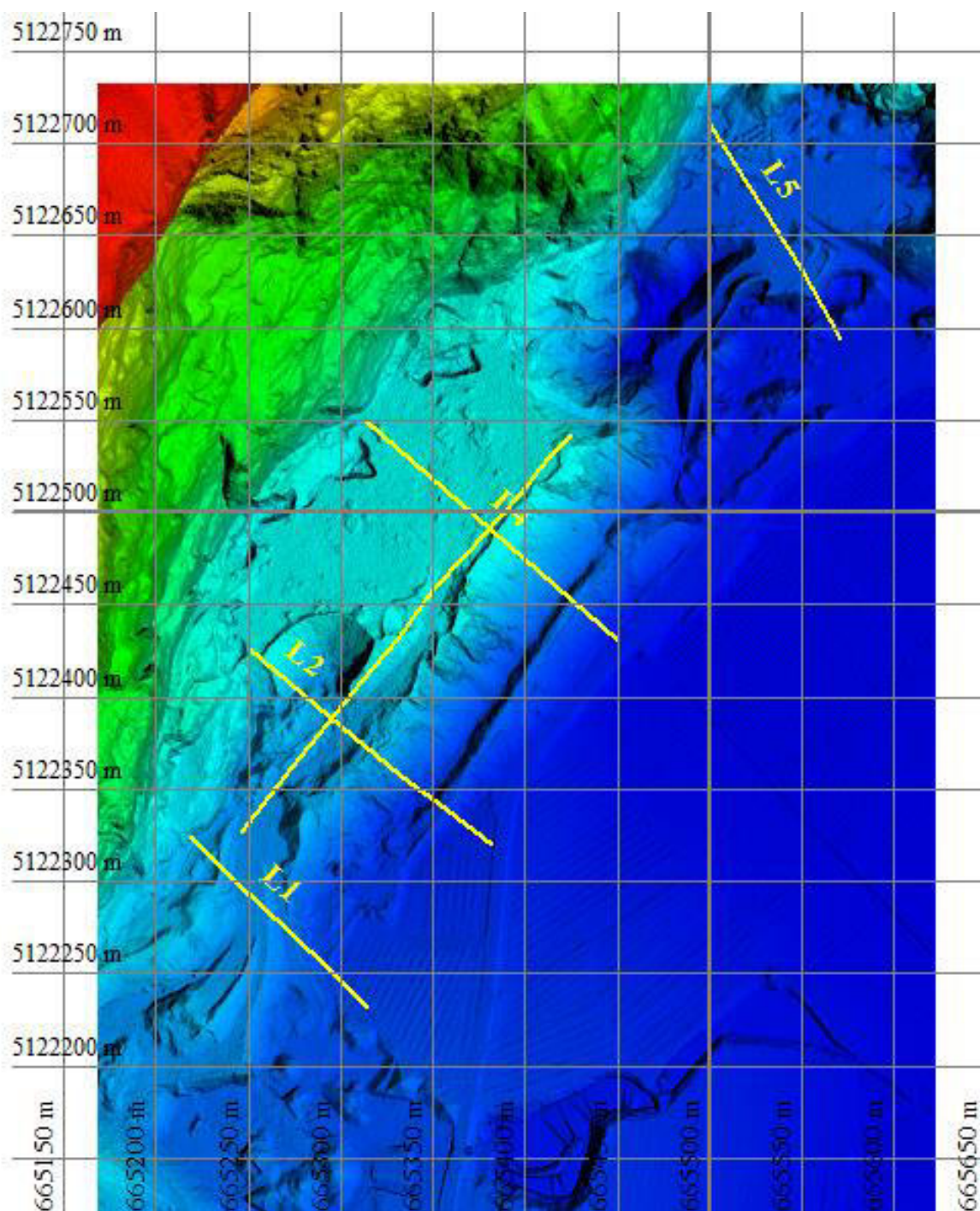
Il profilo di collegamento trova ad oggi una situazione in cui tutta la parte sudoccidentale (circa 2/3) sono su terreno suborizzontale per poi salire su un ripiano piu' elevato in quota che a nordest e' limitato fisicamente da una rapida scarpata che circa a meta' si verticalizza in presenza del substrato roccioso affiorante.



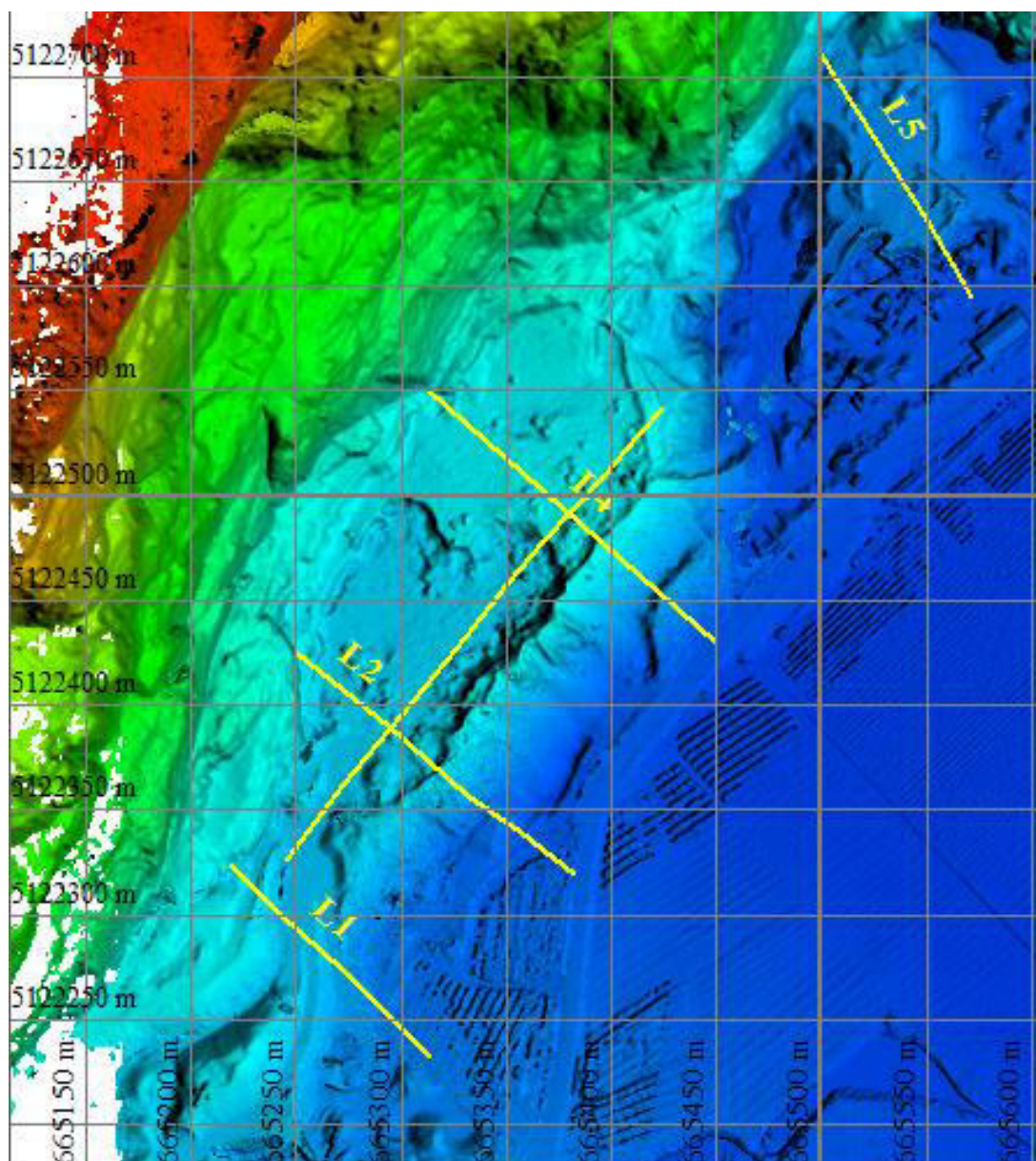
Visione da Est della scarpata piano cava rialzato da coltivare

Appare chiaro quindi che la superficie di erosione del substrato roccioso al di sotto della zona di coltivazione non sia cosi' banalizzabile nella forma e possa anche non scendere verticalmente come fa invece la parete a monte che si erge per circa 300m di sviluppo in altezza.





Ubicazione georeferenziata delle indagini su vecchiolidar provinciale



Ubicazione georeferenziata delle indagini su lidar aggiornato

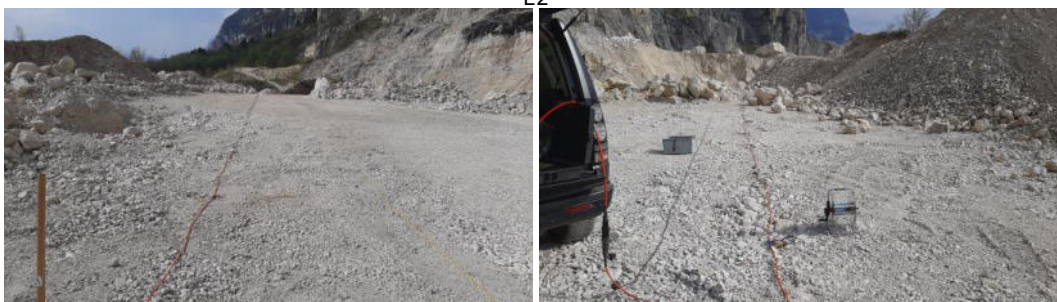


L1

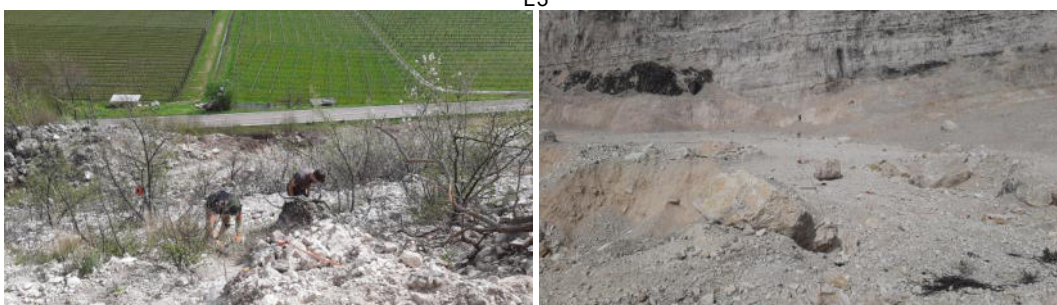




L2



L3



L4



L5

Immagini fotografiche dell'area interessata dai lavori

La strumentazione di acquisizione del segnale sismico è costituita da sistemi modulari a 24 bit e 24 canali interspaziati di 3m. La fonte di energizzazione e' costituita nell'impatto di una massa accelerata da 30 e mazza da 20Kg eseguite ogni 4-6 geofoni.

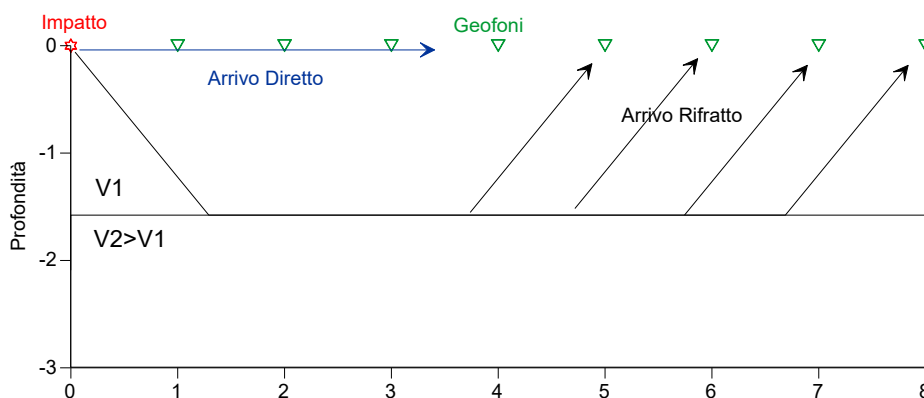
Tutti i sensori sono stati rilevati con sistema GPS RTK e successivamente sovrapposti al lidar aggiornato di progetto.

## 2. CENNI METODOLOGICI

### Sismica a rifrazione tomografica

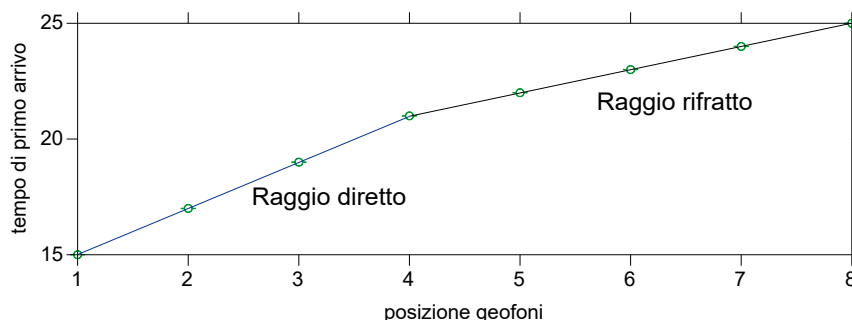
La tecnica di sismica a rifrazione si basa sulla garanzia che una sorgente meccanica eccita il sottosuolo inviando onde elastiche che si propagano in profondità e vengono parzialmente deviate (rifratte) lungo l'interfaccia che separa due mezzi a differente impedenza acustica ( $\rho \cdot V$ ) ed in parte proseguono verso il basso finchè l'energia viene completamente assorbita dal mezzo in cui si propaga.

L'effetto di queste onde è la formazione di vibrazioni che vengono captate da sensori posti sulla superficie, generalmente elettromagnetici, in grado di trasformare la sollecitazione meccanica, che subisce la massa mobile del magnete, in un segnale elettrico che, debitamente amplificato, viene riprodotto su monitor e memorizzato su supporto informatico.



Esempio schematico (total-rifrazione) del percorso dei raggi sismici "tiro esterno" di un modello sismico a due strati

La lettura dei tempi di primo arrivo della vibrazione ai differenti sensori (geometricamente disposti in linea sul terreno secondo un profilo) è riferita all'istante zero, che è quello che corrisponde all'istante dell'energizzazione del terreno. Essa consente la loro ubicazione su un diagramma cartesiano ottenendo le dromocrone relative ad ogni punto di energizzazione. Il grafico che ne risulta è costituito da una serie di segmenti la cui inclinazione corrisponde alla velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo.

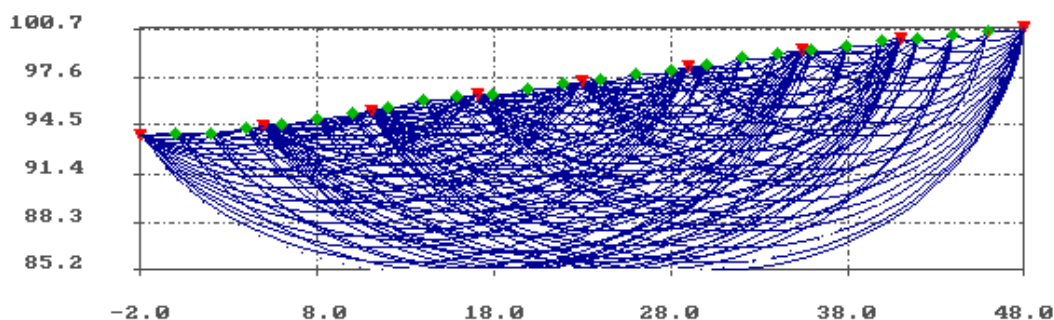


Dromocrona relativa all'esempio schematico

Dall'analisi delle dromocrone è possibile (e questo è il dato fondamentale dell'interpretazione) definire il numero dei sismostrati presenti nel sottosuolo (ovviamente per la finestra temporale adottata che è funzione della lunghezza dello stendimento e della quantità di energia utilizzata).

L'interpretazione per la risoluzione geometrica dei sismostrati (profondità e velocità) si avvale di diverse metodologie di calcolo dalle più semplici procedure dirette (Hagedoorn, 1959; Barry, 1967), seguendo le leggi generali dell'ottica, a quelle più complesse sia 1D che 2D che elaborano i dati mediante la tecnica del GRM (Palmer, 1980), del Ray-tracing o della tomografia (Hampson & Russell, 1984; Olsen, 1989).

La finalità della tomografia è la dettagliata esplorazione del modello di distribuzione della velocità in un mezzo. Essa si basa sui primi arrivi ottenuti per set plurimi di coppie sorgente-ricevitore: la sola limitazione è quella che i raggi sismici formino una rete completa e cioè, idealmente, ciascun punto del mezzo investigato dovrebbe essere attraversato dai raggi in tutte le direzioni.



Esempio applicativo di una fitta rete di raggi ideale per la tomografia (24 geofoni e 9 basi di energizzazione)

Il metodo tomografico si basa sul principio della rifrazione critica di raggi monocromatici che si retro-propagano in superficie e per la cui simulazione è richiesto un gradiente velocità positivo.

Pertanto l'applicabilità dell'analisi è limitata a variazioni laterali di velocità non elevate e per morfologie della superficie topografica e dei rifrattori non esasperate, anche se molto in questi anni si è compiuto per adottare tecniche di focalizzazione e bilanciamento dei modelli per ovviare a determinati problemi.

Oltre all'input fornito dai tempi di primo arrivo misurati ( $t_{obs}$ ), è sempre necessario introdurre un modello iniziale, che può essere scelto tra semispazio a velocità costante, mezzo stratificato a velocità crescente con gradiente fisso o con step di velocità o modello 2D strutturato in base al livello di conoscenza del sito indagato; la risoluzione del problema diretto avviene per semplice computazione geometrico-temporale tracciando i raggi che attraversano nel minor tempo disponibile le celle in cui è stato suddiviso il modello iniziale.

Il calcolo dei residuali rappresenta cella per cella l'input per la risoluzione del problema inverso che è di tipo linearizzato con la possibilità di scelta di diversi criteri di ricerca (back projection, damped least squares, max. smoothness e max. flatness constrain).



Abitualmente la prima soluzione dell'inversione viene utilizzata come input 2D per la successiva, ripetendo l'analisi in maniera iterativa ed adottando l'ottimizzazione per smoothness o max. flatness constrain. In questo caso l'inversione è di tipo non lineare ed il risultato principale è l'estremizzazione del bending dei raggi.

Questo accorgimento permette di approdare a soluzioni più realistiche soprattutto nei casi in cui sono presenti impedenze acustiche elevate.

## Masw

Il Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) è un metodo investigativo che è stato introdotto all'inizio del 1999 nell'ambito geotecnico e geofisico. Si tratta di una tecnica analitica che genera un profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$  in funzione della profondità) analizzando su una registrazione multicanale le onde di superficie di tipo Rayleigh. Il metodo utilizza i concetti della registrazione ed elaborazione multicanale largamente impiegati da decenni nei rilievi a riflessione per l'esplorazione profonda.

Le proprietà frequenza dipendenti delle onde di superficie di Rayleigh possono essere utilizzate per rappresentare e caratterizzare il sottosuolo nella sua porzione superficiale. La parte principale dell'analisi delle onde di superficie si basa sull'accurato calcolo delle velocità di fase del modo fondamentale del movimento orizzontale dell'onda Rayleigh.

Il modo fondamentale delle "ground roll" (onde di superficie tipo Rayleigh) che è senza dubbio una delle più importanti fonti di disturbo nei rilievi a riflessione, nel MASW, invece, viene definito come segnale e le tecniche di acquisizione e di elaborazione sono rivolte alla sua enfattizzazione. A causa di questa diversa concezione di "segnale" e di "rumore" in rapporto alla sismica a riflessione il metodo richiede leggere modifiche per quanto riguarda l'approccio sia realizzativo che di trattamento dei dati.

La fase di acquisizione come si è premesso è analoga a quella adottata nei normali rilievi sismici a riflessione con la sola precauzione che la geometria utilizzata deve essere tale da assicurare un'efficiente generazione di onde di superficie che si sviluppino al di sotto del range di profondità delle onde primarie.

Nella fase di elaborazione il compito più delicato è rappresentato dalla costruzione della curva di dispersione. Essa altro non è che il plottaggio della velocità di fase in funzione della frequenza e ha il suo supporto teorico nel fatto che quando per l'energizzazione sismica si usa una sorgente compressionale (impatto) più di 2/3 dell'energia sismica generata è rappresentata dalle onde di Rayleigh, che sono la componente principale delle "ground roll". Assumendo quindi che ci sia una variazione verticale della velocità, ogni componente di frequenza di un'onda di superficie ha una diversa velocità di propagazione (chiamata *velocità di fase*) per una ed una sola componente di frequenza. Questa caratteristica di unicità si riflette in una differente lunghezza d'onda per ciascuna frequenza propagata. Questa proprietà è chiamata **dispersione** e per

osservare la natura dispersiva di un segnale sismico generico si usa un'analisi chiamata *overtone* che consente la costruzione di un grafico dove i trend delle massime ampiezze locali rappresentano possibile energia dispersiva (cioè modo fondamentale e modi più elevati di propagazione). Questo viene ottenuto esaminando tutte le possibili velocità di fase per tutte le frequenze considerate nell'analisi.

Il passo finale è quello del processo di inversione della curva di dispersione per arrivare alla definizione del profilo delle velocità delle onde S ( $V_s$ ). Si tratta di un procedimento iterativo che richiede i dati di dispersione e una stima del coefficiente di Poisson e della densità. L'approccio con il metodo dei minimi quadrati consente un'automatizzazione del processo. La prima operazione è quella di definire un modello iniziale, dedotto dalla curva di dispersione, ed il programma ricerca un profilo delle  $V_s$  la cui curva teorica di dispersione meglio si approssima a quella sperimentale usando, come guida e condizioni al limite, l'errore RMS. Tanto più è corretto il modello iniziale tanto più piccolo è il numero di iterazioni necessarie per raggiungere il best fit.

Ripetendo l'acquisizione spostandosi di  $N$  stazioni permette di ottenere una sezione pseudo-2D della distribuzione nel sottosuolo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$  in m/s) che è il parametro fisico che meglio di ogni altro coglie la variabilità delle caratteristiche geotecniche di un materiale essendo influenzato soltanto dal comportamento della frazione solida di un terreno (le onde S, infatti, non si trasmettono nei fluidi).

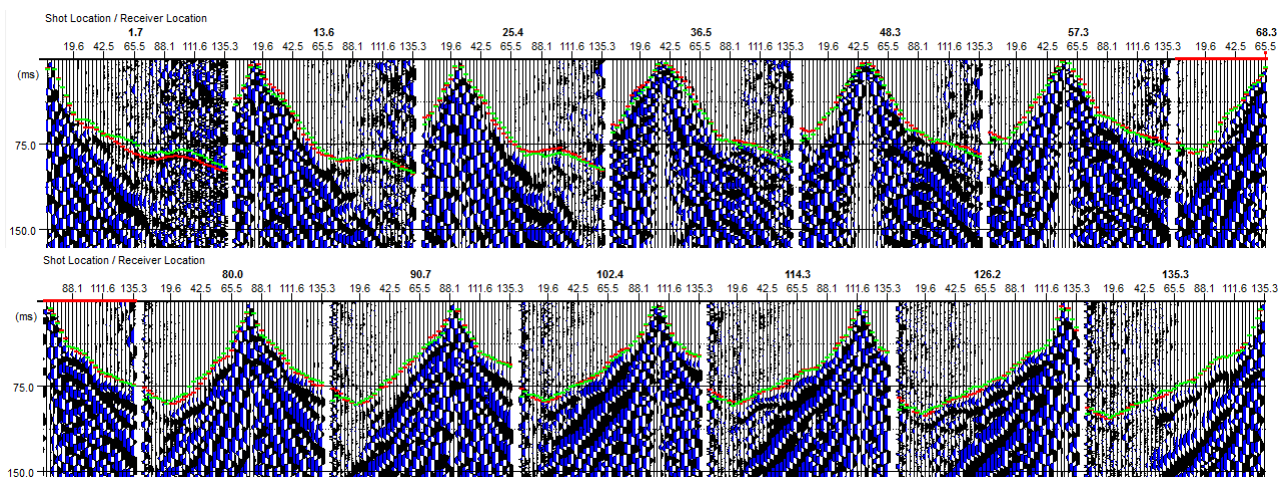
La sezione si ricava interpolando profili monodimensionali affiancati e spaziati, nel presente caso, di 9-12m (3-4 stazioni geofoniche).

### **3. SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI**

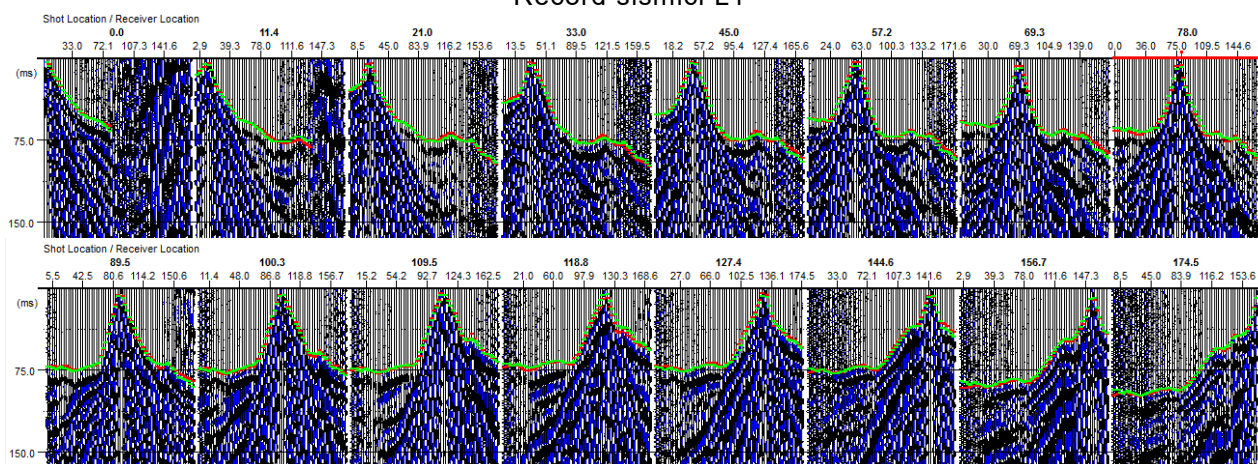
L'elaborazione dei dati è iniziata sistemando la topografia rilevata mediante gps rtk che ha consentito la quasi totalità dei rilievi in modalità fix mode (3-3cm di risoluzione laterale e 5-6cm in quota).

Una volta eseguito il resorting e l'organizzazione dei tiri si è proceduto all'analisi della sismica tomografica.

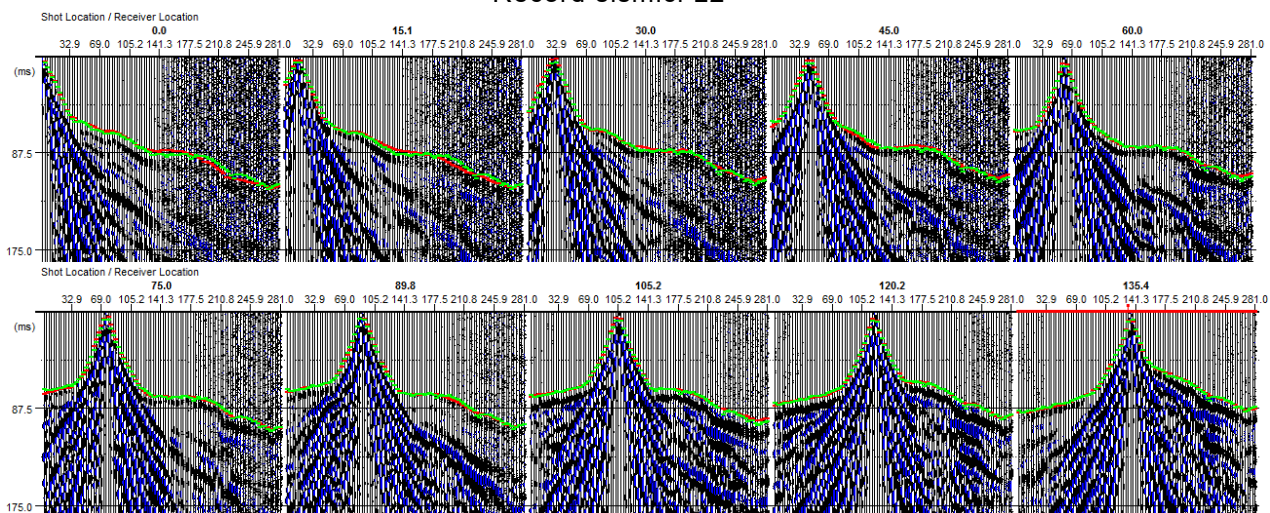
Da come si può vedere i sismogrammi acquisiti sono caratterizzati da elevata energia e ridondanza del dato attribuendo alle operazioni di campionamento del dato di primo arrivo una bassa incertezza ed un esito ben vincolato per la ricostruzione del campo di velocità.



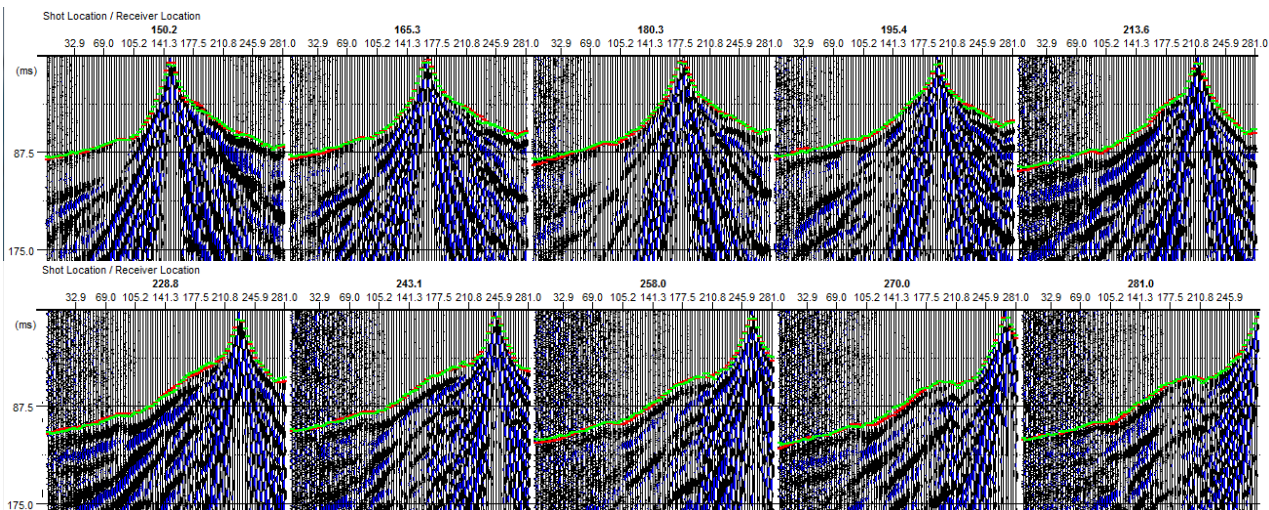
Record sismici L1



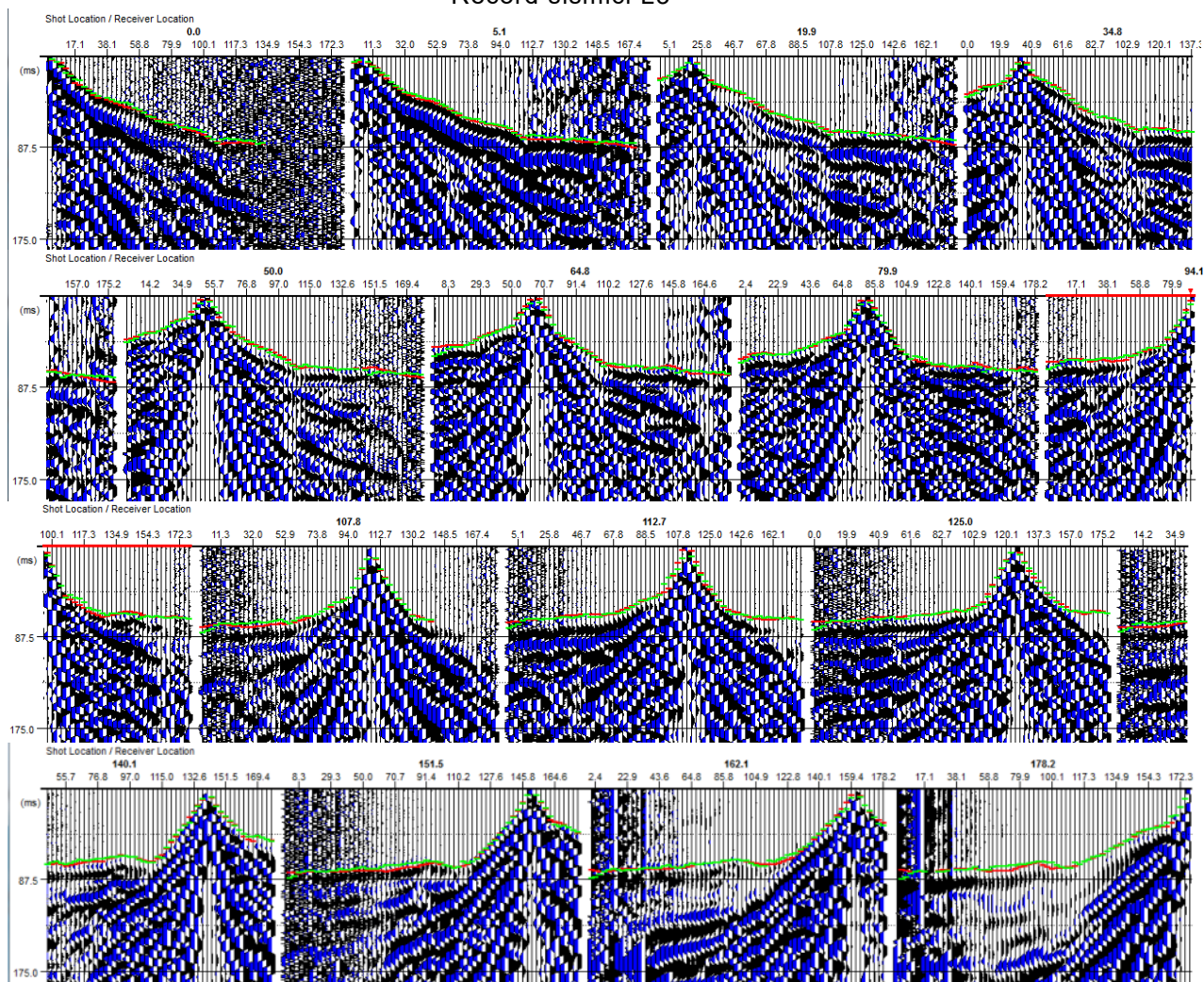
Record sismici L2



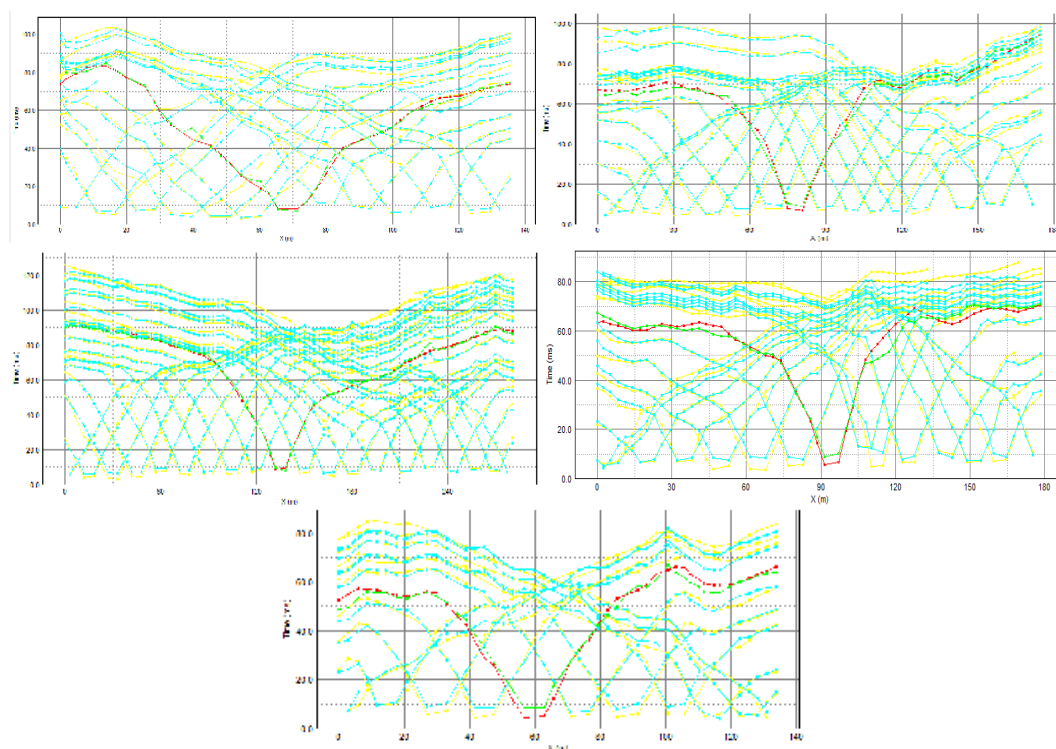
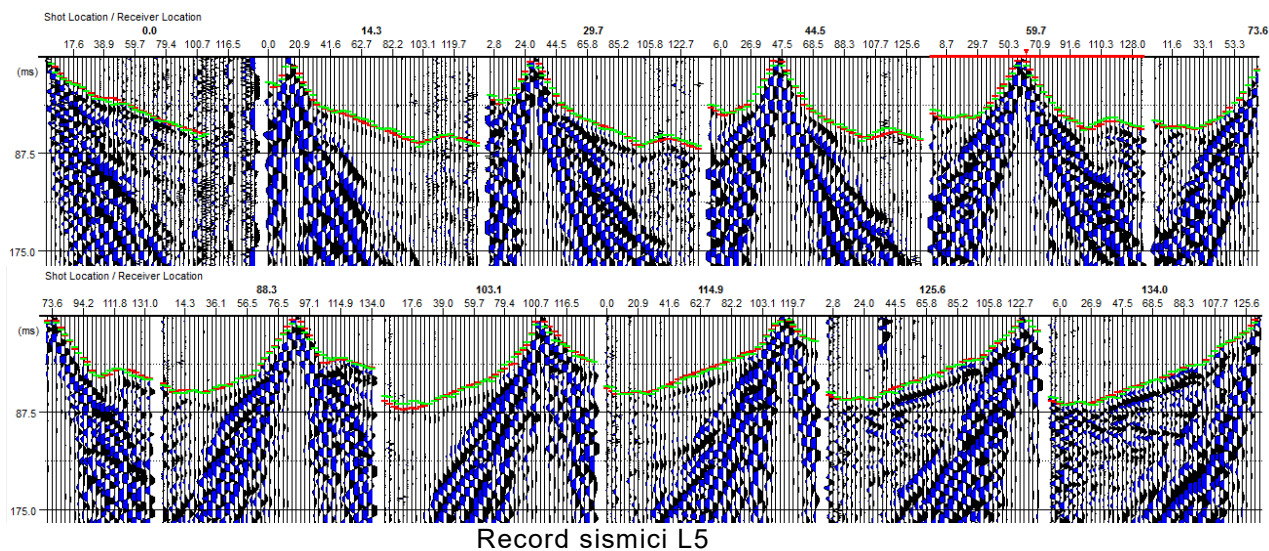




Record sismici L3



Record sismici L4



Dromocrone misurate e calcolate per le tre prove sismiche a rifrazione tomografica

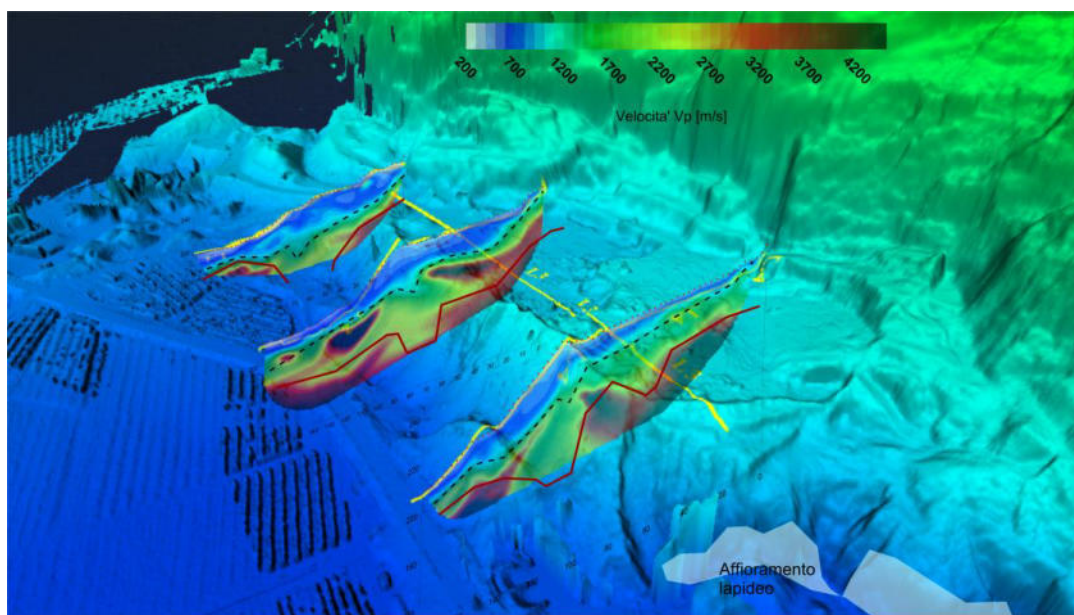
L'output numerico dei modelli sismici e' quindi molto definito e consente di indicare molto bene il contatto tra coperture detritiche facilmente lavorabili e materiali decisamente piu' rigidi: il primo orizzonte di copertura al suo interno puo' presentare blocchi in volumetria non trascurabile sul tipo di quelli che si vedono in superficie: la velocita' di questo orizzonte e' compresa tra 400 e 1000m/s ed assume una tonalita' in variazione di blu per i modelli presentati. La rifrazione tomografica indica alla sua base un contrasto significativo con  $V_p$  che salgono poi piu' o meno rapidamente a 3000m/s. Osservando la parete di scavo gia' abbassato a Est dell'area interessata dai rilievi L1,L2,L4 e L3 occorre indicare che tale materiale dovrebbe essere gia' costituito da roccia



in posto tanto che nei trasversali (L1, L2 e L4) si nota addirittura la presenza di una fascia piu' fratturata analoga alle superfici di taglio che si individuano a monte sulla parete: tale superficie non e' rappresentata da una piano rettilineo ed anche in senso estovest puo' ridursi in spessore o aumentare localmente.

Il target del lavoro e' stato ampiamente raggiunto e, con un tratteggio nero, sulle sezioni presentate e' stata segnata la superficie che distingue la copertura dal sottostante substrato roccioso.

La particolarita' che emerge dai rilievi, oltre alla determinazione della presenza di una balza lapidea che riduce sensibilmente la cubatura dei materiali cavabili, e' che anche a valle ad altezza strada a debole profondita' le velocita' si innalzano notevolmente e forse troppo per attribuire questo innalzamento alla presenza della sola falda (cio' accade piu' in L1 e L3 e meno in L4). Osservando il rendering 3D che riporta i dati delle tre sezioni trasversali si puo' notare che segnando anche un'interfaccia piu' veloce a  $V_p > 3000 \text{ m/s}$  si puo' osservare una coerenza tra i tre profili e la situazione morfologica degli affioramenti lapidei di monte.

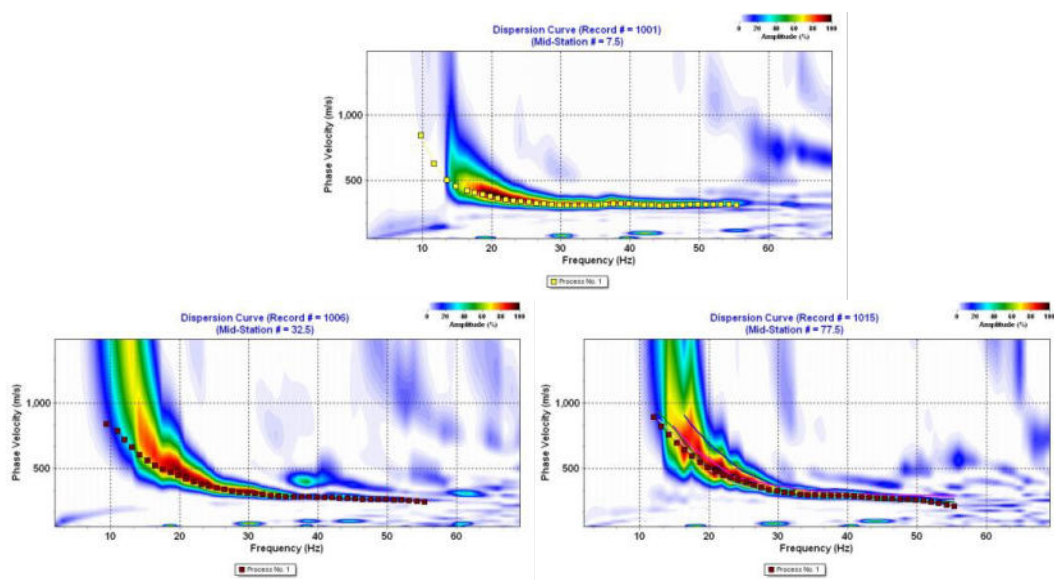


Render di tre profili sismici L1, L2 e L4

Gli elaborati allegati sono preparati su supporto ottimizzato in stampa formato A3 in maniera da essere piu' leggibili graficamente.

Alle sezioni tomografiche  $V_p$  si associa anche la corrispondente sezione  $V_s$  estratta dall'interpretazione delle onde di superficie Masw2D. Questa seconda analisi disgiunta dalla prima dovrebbe poter consentire una taratura indiretta della geofisica in onde  $V_p$  in particolare per il tema dell'analisi sottofalda che puo' far sovrastimare le  $V_p$  ma che in nessun modo altera la diagnostica legata alle  $V_s$ . Le  $V_s$  cosi' ricavate da interpolazione di verticali  $V_s$  1D tra loro molto ravvicinate e con array di analisi a 10 canali in parte sovrapposti possono essere anche meno influenzate dalla presenza di grossi blocchi che localmente per le onde  $V_p$  costituiscono dei rifrattori critici assomigliando molto al substrato roccioso radicato.





Esempi di curve di dispersione osservate lungo l'array L3

Sulle sezioni  $V_s$  sono riportati i limiti ricavati dall'interpretazione della sismica  $V_p$  e cio' e' fatto per consentire un rapido confronto grafico della convergenza dei due modelli. Ci si puo' quindi spendere a favore che la prima linea tratteggiata rappresenti ufficialmente il contatto copertura/roccia in quanto e' generalmente riconosciuto che per  $V_s > 800 \text{ m/s}$  si possa in questi contesti considerare il materiale investigato di natura lapidea.

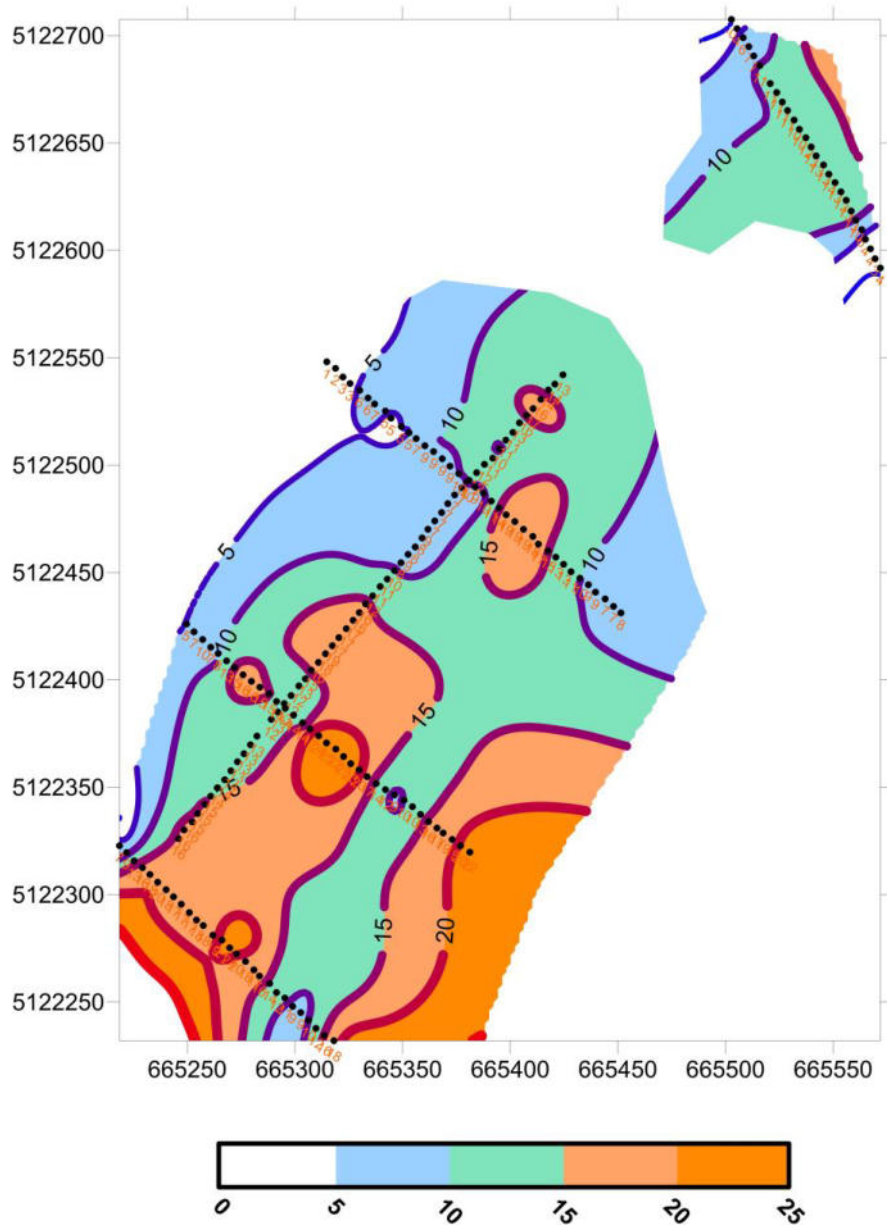
Spesso il tratteggio nero della rifrazione si trova a contatto con l'isotaca  $V_s$  di  $650 \text{ m/s}$  in cui pero' il gradiente i velocita' verticale e' gia' progressivamente piu' elevato rispetto a quello degli orizzonti piu' superficiali: e' possibile dunque che si stia analizzando lo spessore di un cappellaccio roccioso destrutturato e non quella di accumuli eterogenei di blocchi eterometrici.

La ricostruzione del modello pseudo2D in  $V_s$  consente di identificare la fascia fratturata subverticale per il profilo Masw1 e meno per il Masw 2,4 e 5 in cui la frattura sembrerebbe avere meno effetto di quanto osservato nella tomografia. Cio' comunque puo' anche essere ereditato da una minore performance della risoluzione laterale dell'analisi masw rispetto a quanto si ottiene dall'approccio tomografico  $V_p$ .

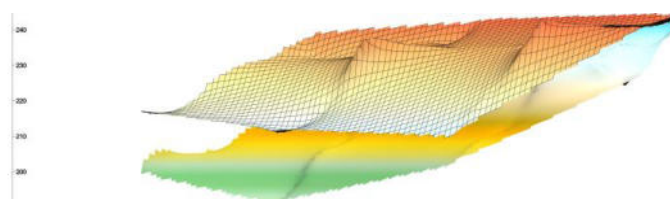
Relativamente alla prima interfaccia proposta (tratteggio nero) si e' eseguito un esercizio di digitalizzazione della superficie e di seguito si mostra l'interpolazione grafica delle isobate (differenza in metri tra superficie topografica e letto delle coperture).

Si puo' notare come le profondita' massime si aggirino intorno a 18-20m ed ovviamente spostandosi verso monte si rastremano a 0m. La digitalizzazione e' stata eseguita per intervalli di 5m esclusivamente lungo le linee sismiche eseguite.

### Carta delle isobate centrata sulle linee sismiche



Infine utilizzando l'interpolazione tra la superficie topografica e quella del letto delle coperture con meno di 1400m/s di Vp e' stato possibile calcolare, per la sola area dell'incrocio L1-L2,L4 e L3, una stima dei volumi di circa 555000m<sup>3</sup> coinvolti su un areale di ~42500m<sup>2</sup> (13m di media).



rappresentazione delle superficie topografica e del letto delle coperture  
utilizzate per un calcolo speditivo dei volumi compresi



### Upper Surface

Grid File Name: C:\Lavori\2024\sisim\mezzocorona\_cave\_23\_03\isobate\_topo\_no5.grd  
Grid Size: 100 rows x 74 columns

X Minimum: 665218.5628  
X Maximum: 665451.5204  
X Spacing: 3.1912000000011

Y Minimum: 5122231.929  
Y Maximum: 5122548.067  
Y Spacing: 3.1933131313158

Z Minimum: 209.62346070676  
Z Maximum: 244.66060579199

### Total Volumes by:

Trapezoidal Rule: 554693.3696066  
Simpson's Rule: 555053.81547118  
Simpson's 3/8 Rule: 554815.0311091

### Lower Surface

Grid File Name: C:\Lavori\2024\sisim\mezzocorona\_cave\_23\_03\isobate\_bedrock\_no5.grd  
Grid Size: 100 rows x 74 columns

X Minimum: 665218.5628  
X Maximum: 665451.5204  
X Spacing: 3.1912000000011

Y Minimum: 5122231.929  
Y Maximum: 5122548.067  
Y Spacing: 3.1933131313158

Z Minimum: 190.66574181736  
Z Maximum: 242.48179931687

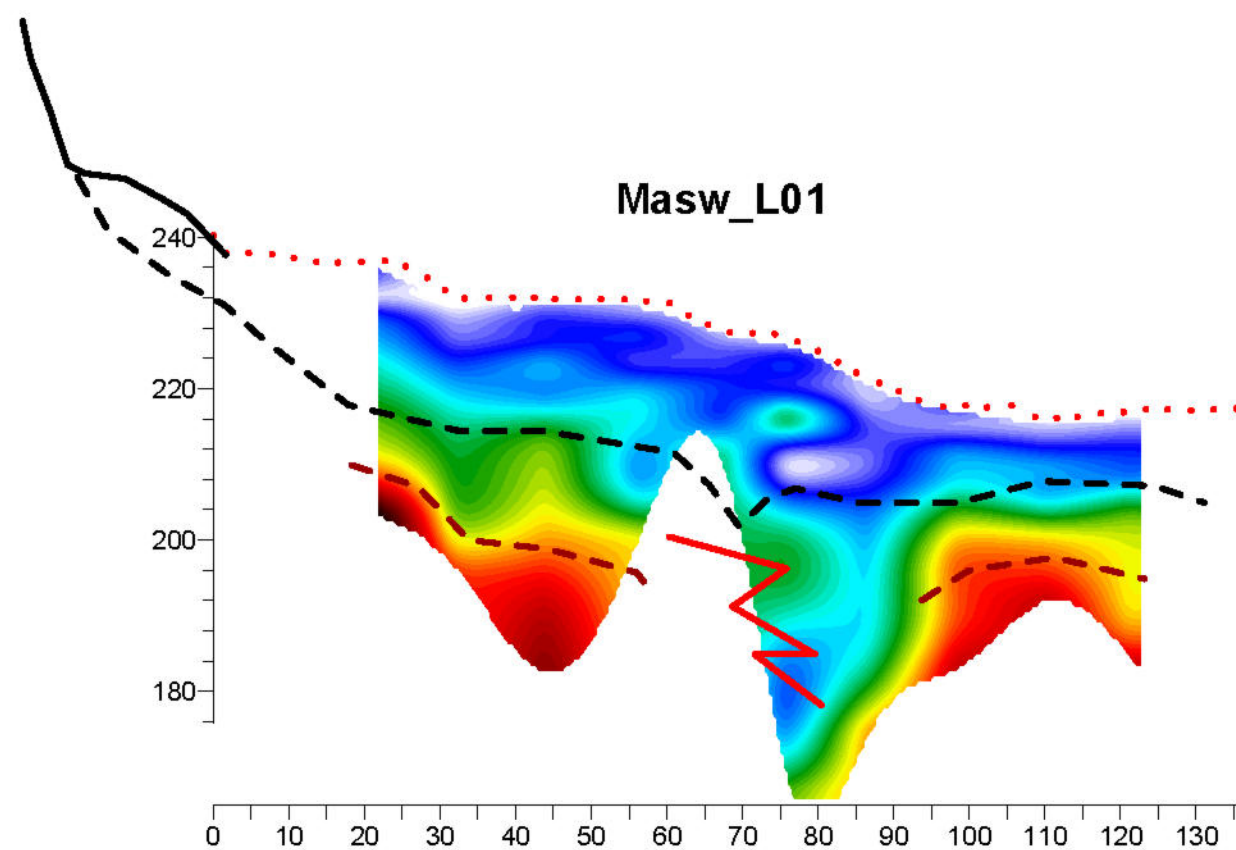
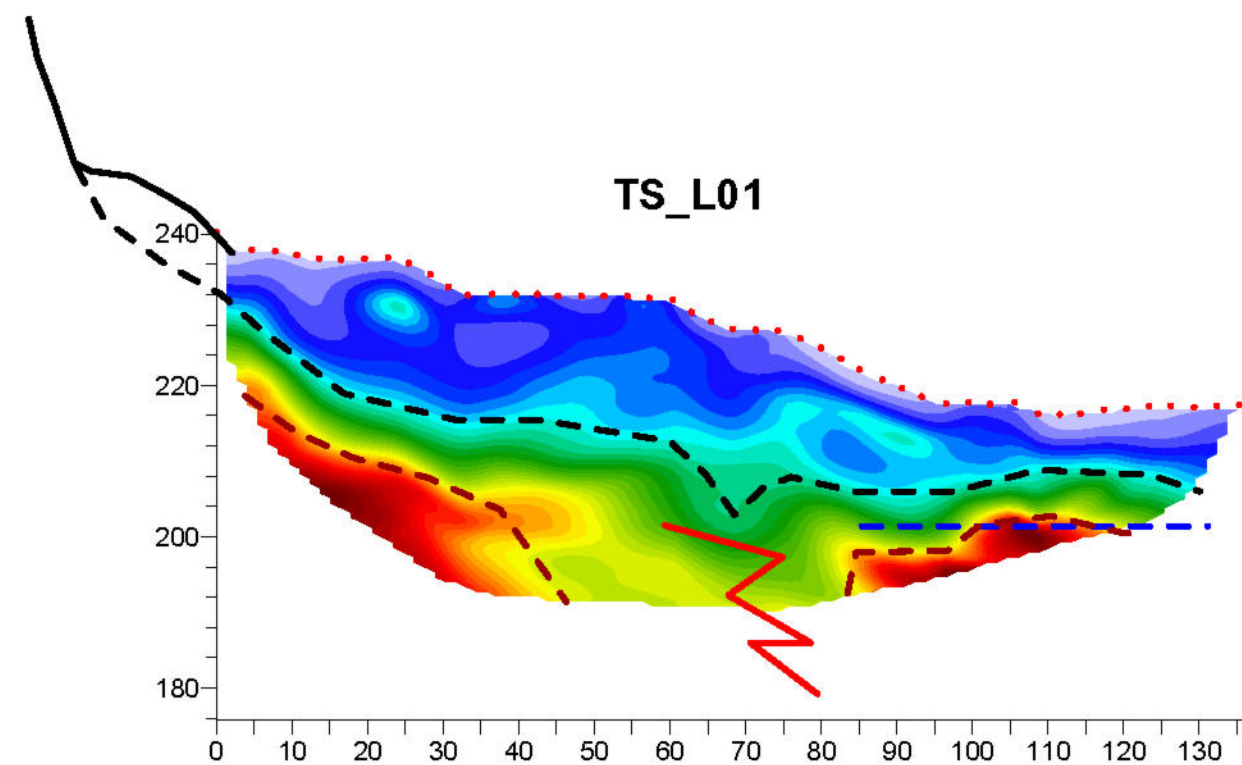
Giugno 2024

GG Service s.r.l.

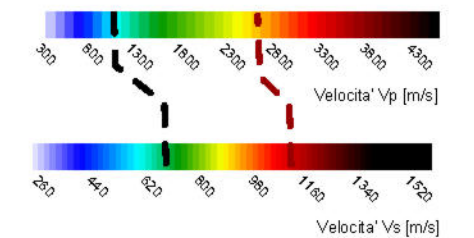
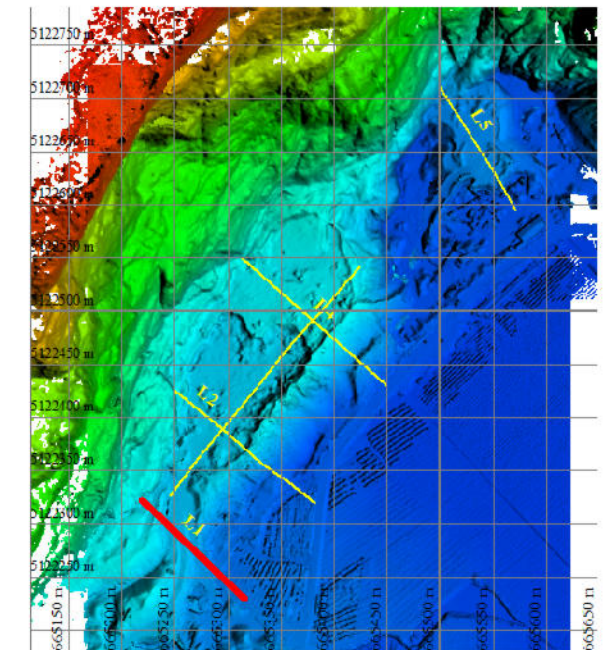


Fanno parte integrante della  
relazione # 5 tavole  
formato A3 orizzontale ritraenti  
gli esiti di ciascun profilo





# Ubicazione Indagini



contatto roccia/copertura

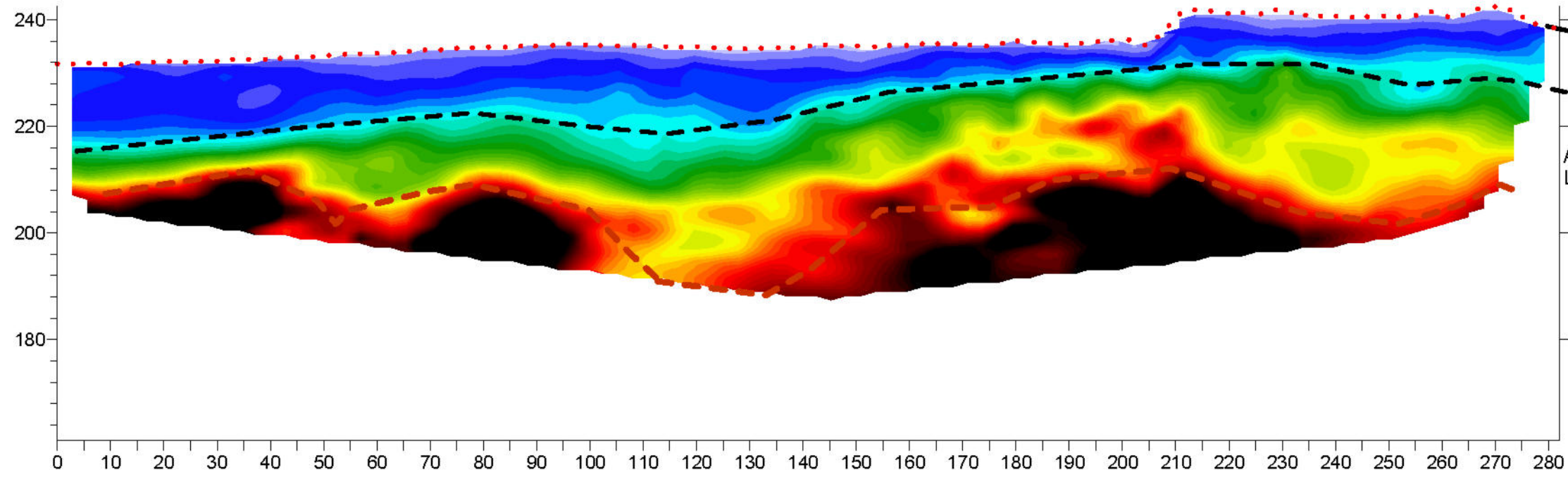
tetto ammasso roccioso integro

PROJECT:	MAPPATURA QUASI TRIDIMENSIONALE DEL CONTATTO ROCCIA COPERTURA PER LA CUBATURA DEL GIACIMENTO NEL SITO STRATEGICO DELLE CAVE DI MEZZOCORONA
CLIENT:	COMUNE DI MEZZOCORONA -Provincia di Trento-
TITLE:	TAV 1  MODELLI DI VELOCITA' Vp-Vs Linea Sismica L01
DATE:	08/06/2024
SCALE:	1:1000
CONTRACTOR:	GG Service s.r.l. 01999920224 info@ggservice@gmail.com ggservice@pec.it 3407269655  INDAGINI GEOFISICHE

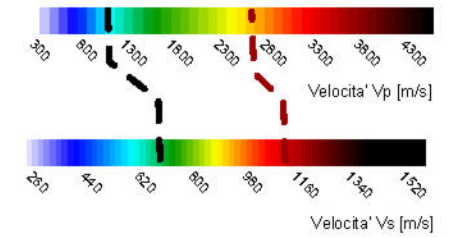
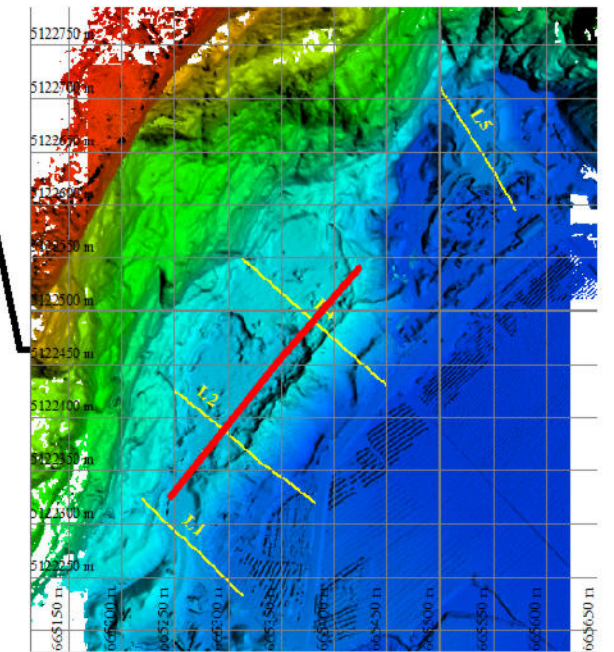




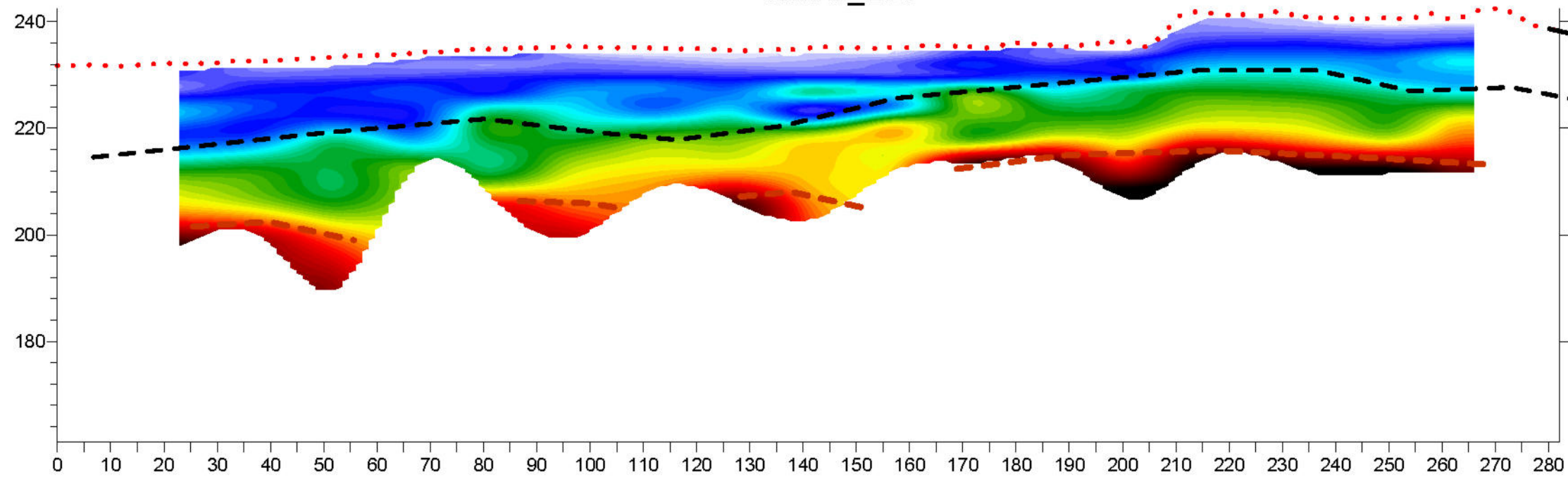
TS\_L03



Ubicazione Indagini

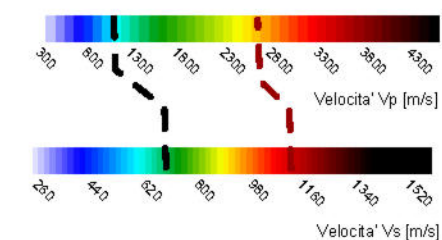
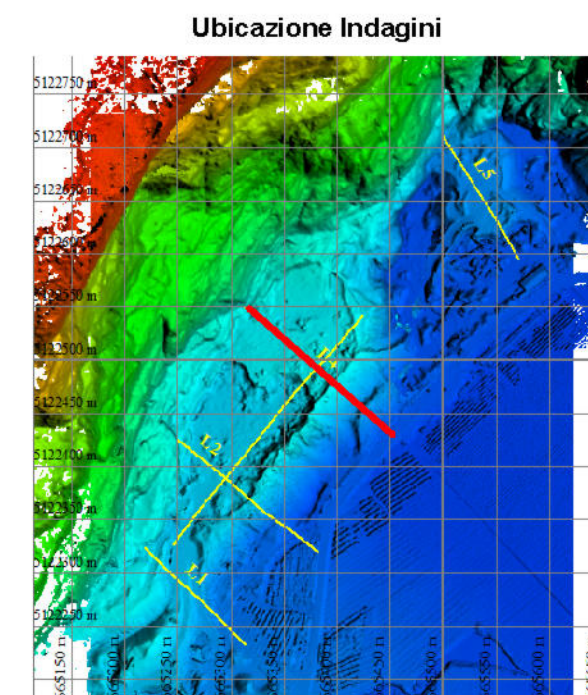
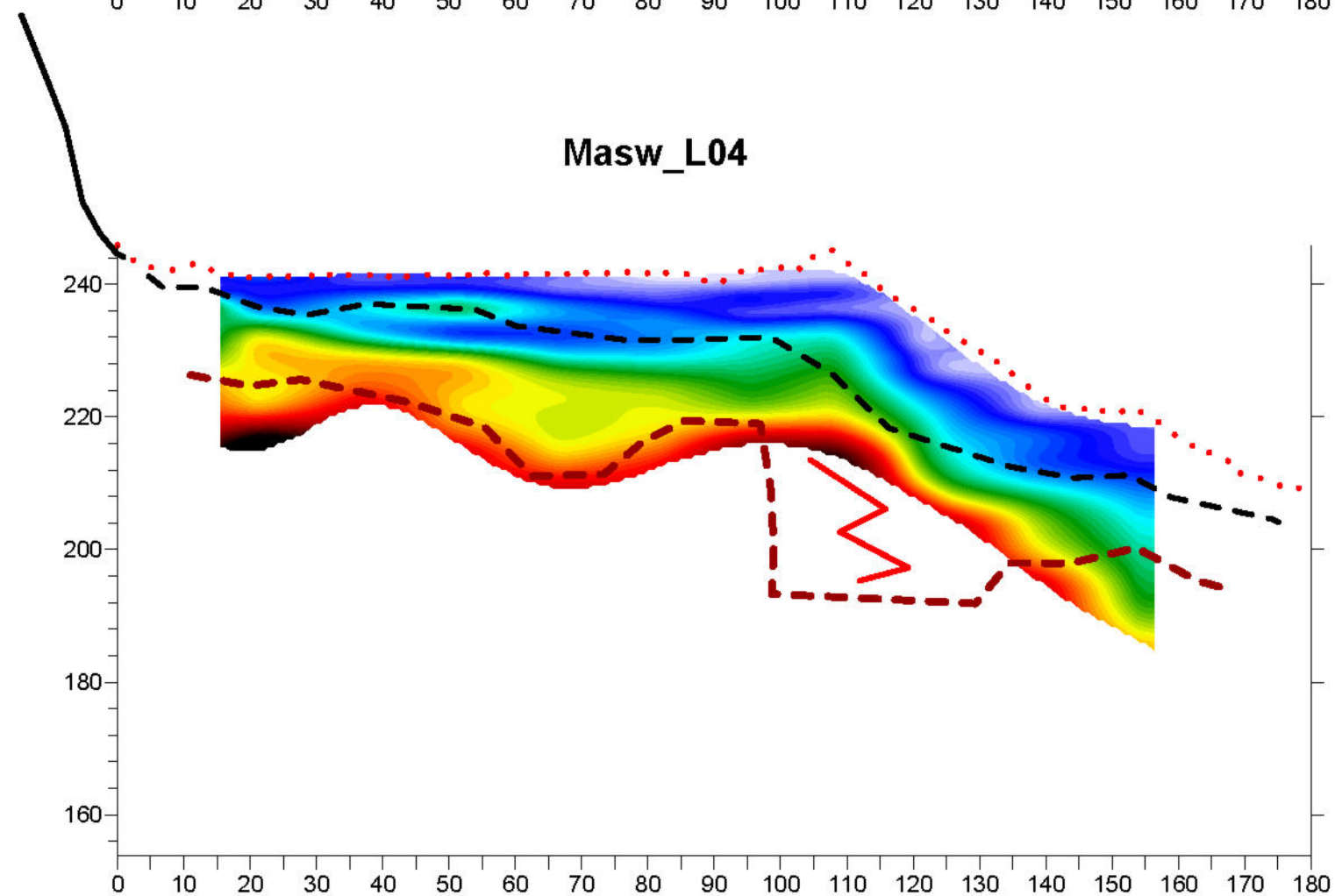
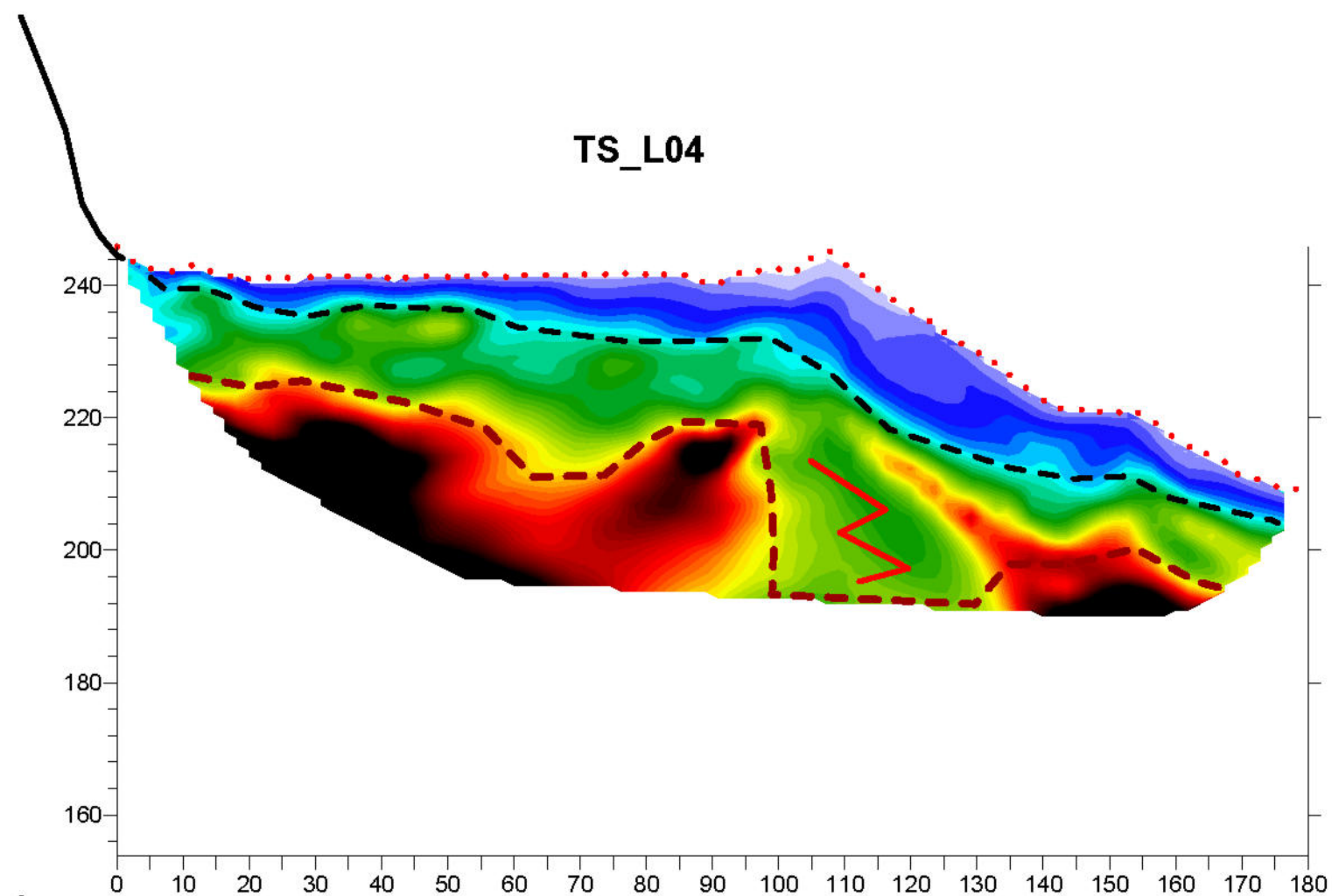


Masw\_L03



PROJECT:	MAPPATURA QUASI TRIDIMENSIONALE DEL CONTATTO ROCCIA COPERTURA PER LA CUBATURA DEL GIACIMENTO NEL SITO STRATEGICO DELLE CAVE DI MEZZOCORONA
CLIENT:	COMUNE DI MEZZOCORONA -Provincia di Trento-
TITLE:	<b>TAV 3</b> <b>MODELLI DI VELOCITA' Vp-Vs</b> <b>Linea Sismica L03</b>
DATE:	<b>08/06/2024</b>
SCALE:	1:1000
CONTRACTOR:	 <b>GG Service s.r.l.</b> 01999920224 info@ggservice.it ggservice@pec.it 3407269655 <b>INDAGINI GEOFISICHE</b>

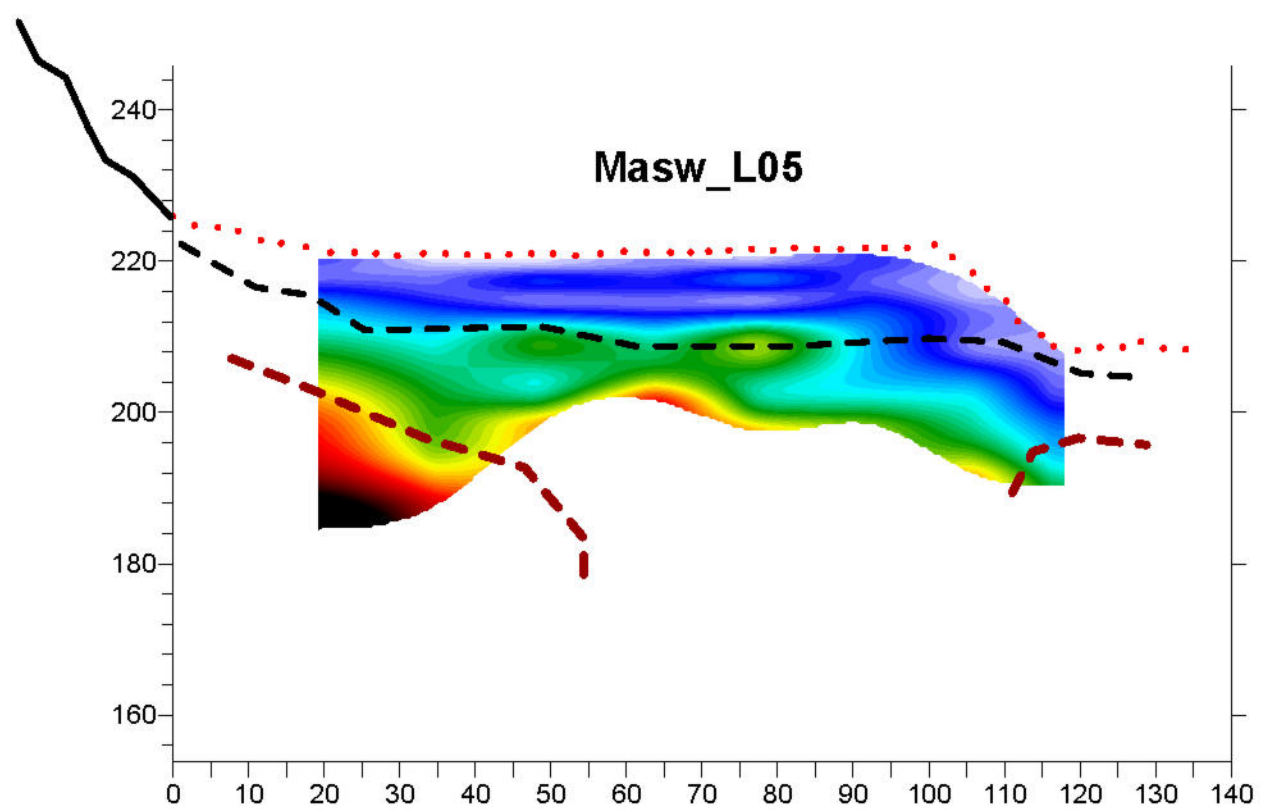
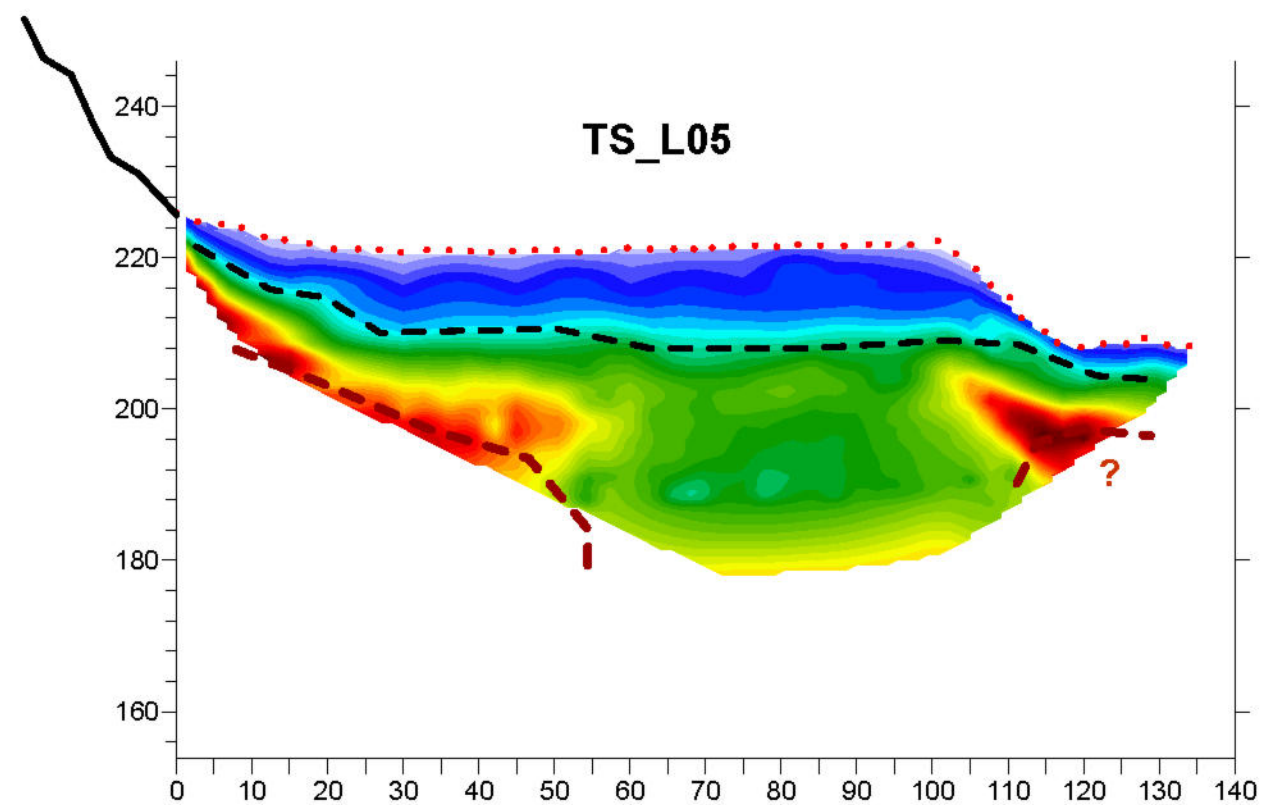




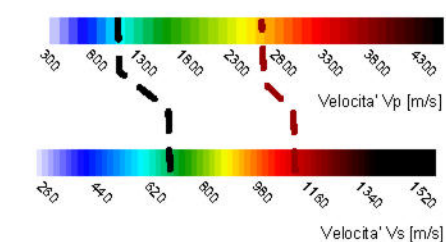
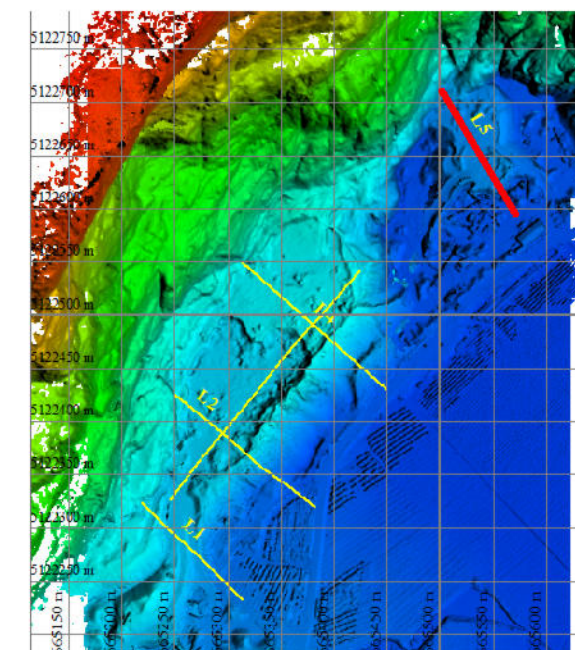
--- contatto roccia/copertura

--- tetto ammasso roccioso integro

PROJECT:	MAPPATURA QUASI TRIDIMENSIONALE DEL CONTATTO ROCCIA COPERTURA PER LA CUBATURA DEL GIACIMENTO NEL SITO STRATEGICO DELLE CAVE DI MEZZOCORONA
CLIENT:	COMUNE DI MEZZOCORONA -Provincia di Trento-
TITLE:	TAV 4  MODELLI DI VELOCITA' Vp-Vs Linea Sismica L04
DATE:	08/06/2024
SCALE:	1:1000
CONTRACTOR:	 <b>GG Service s.r.l.</b> 01999920224 info@ggservice@gmail.com ggservice@pec.it 3407269656 <b>INDAGINI GEOFISICHE</b>



#### Ubicazione Indagini



contatto roccia/copertura

tetto ammasso roccioso integro

PROJECT:	MAPPATURA QUASI TRIDIMENSIONALE DEL CONTATTO ROCCIA COPERTURA PER LA CUBATURA DEL GIACIMENTO NEL SITO STRATEGICO DELLE CAVE DI MEZZOCORONA
CLIENT:	COMUNE DI MEZZOCORONA -Provincia di Trento-
TITLE:	<b>TAV 5</b> <b>MODELLI DI VELOCITA' Vp-Vs</b> <b>Linea Sismica L05</b>
DATE:	<b>08/06/2024</b>
SCALE:	1:1000
CONTRACTOR:	 <b>GG Service s.r.l.</b> 01999920224 info@ggservice@gmail.com ggservice@pec.it 3407269655 <b>INDAGINI GEOFISICHE</b>