

LOGO:



TITOLO PROGETTO:

SISTEMA IDRICO DEL MENTA

DESCRIZIONE PROGETTO:

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLO SCHEMA IDRICO SULLA DIGA DEL TORRENTE MENTA: OPERE DI BY-PASS DEL TRATTO TERMINALE DELLA CONDOTTA FORZATA PER L'AVVIO DELL'ADDUZIONE IDROPOTABILE

EMISSIONE	-	DOTT.SSA GEOL. D. LUCIA	ING. D. COSTANTINO	ING. D. COSTANTINO	0	16/02/2017
MOTIVO	FASE P.D.P.	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO	REV.	DATA

FASE:

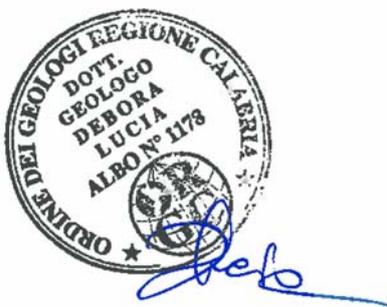
PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

APPROVAZIONI:

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Domenico COSTANTINO

*SIA - Studio Ingegneri Associati:
Dott. Ing. Luigi DE BONI
Dott. Ing. Giancarlo MADONI
Dott. Ing. Poul Erik NIELSEN*



RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Giuseppe SORRENTINO

RESPONSABILE SERVIZI INGEGNERIA:

Dott. Ing. Antonio VOCI

UNITA' DI PROGETTAZIONE SORICAL:

*Dott. Ing. Luca VITALE
Dott. Ing. Giuseppe VIGGIANI*

IMPRESA:

CONSORZIO CONPAT S.C.A.R.L.



L'IMPRESA DESIGNATA



TIPO DOCUMENTO:

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

ELEMENTO/ITEM:

-

SCALA	LINGUA	FORMATO	TAVOLA	P.D.P.		
-	IT	A4	-			
PROGETTO/COMMESSA		ORIGINE/UNUTA'	SISTEMA	PROGRESSIVO		
A.02.4.C		SOP	SIS	A05	-	00

FONTI CARTOGRAFICHE:

REGIONE CALABRIA - CENTRO CARTOGRAFICO / I.G.M. - ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE

IL PRESENTE DISEGNO E' DI PROPRIETA' DI SO.RI.CAL. S.P.A. - A TERMINE DI LEGGE OGNI DIRITTO E' RISERVATO

Relazione sulla Pericolosità sismica di base

SISTEMA IDRICO DEL MENTA

“Lavori di completamento dello schema idrico sulla diga del torrente Menta: opere di by-pass del tratto terminale della condotta forzata per l'avvio dell'adduzione idropotabile”

1

Sommario

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI MATERIALI	3
Sismicità storica dell'area	3
CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO (ORDINANZA DEL P.C.M. N°3274/03)	5

Allegati

Relazione indagini geofisiche – Eseguite dalla società GEOSGRò-

Relazione indagini geofisiche – Eseguite dalla società GEOMISURE snc -

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI MATERIALI

La presente relazione ha lo scopo di illustrare le caratteristiche sismiche dei substrati che saranno interessati dalla realizzazione della condotta di by-pass e delle opere accessorie. A tal fine è stata eseguita una campagna d'indagine geognostica che ha previsto l'esecuzione di :

n° 3 Prove sismiche a rifrazione con acquisizione tomografica

n° 4 Prove MASW (Multichannel Analysis Surface Waves)

Le prove sismiche a rifrazione sono state eseguite in prossimità di porzioni più accessibili del tracciato poste tra le SP per Cardeto e la Centrale di San Salvatore.

Le prove sismiche tipo MASW sono state eseguite in corrispondenza dei siti in cui è prevista la realizzazione delle opere più importanti dal punto di vista ingegneristico ossia: MASW 1 dove sarà posizionata la vasca di disconnessione n. 1; MASW 2 dove sarà posizionata la vasca di disconnessione n. 2, MASW 3 lungo l'attraversamento della Strada Provinciale per Cardeto, MASW 4 dove sarà posizionata la camera di manovra terminale.

L'esecuzione e l'elaborazione delle prove sismiche a rifrazione nonché le prove MASW 1-2-3 sono state eseguite dall'azienda GeoSGRò già in fase preliminare del progetto, di cui si allega alla presente la relazione delle indagini geofisiche.

3

In fase di progettazione esecutiva è stata elaborata un'ulteriore prova sismiche denominata MASW n°4 che ha permesso di stabilire la risposta sismica locale del basamento litoide presente in prossimità della camera di manovra terminale. Questa prova è stata eseguita e elaborata su commissione della Dott.ssa Geol. Lucia Debora, dalla società Geofisica Misure snc, di cui si allega l'elaborazione della stessa.

Sismicità storica dell'area

L'area esaminata fa parte di un territorio ad alta sismicità caratterizzato, in passato, da ripetuti eventi distruttivi. Analizzando la Carta dei Terremoti storici, si può notare che in quest'area è localizzato il massimo assoluto di attività sismica dell'Arco Calabro, con terremoti di magnitudo 6 ÷ 7 e profondità focali di circa 10 Km, localizzati tutti nello Stretto di Messina. Questa struttura tettonica è responsabile dei principali terremoti distruttivi susseguitisi in epoca storica, ad eccezione di quello del 1783 localizzata in corrispondenza della Piana di Gioia Tauro. Qui di seguito sono riportati gli eventi sismici più significativi, in ordine decrescente in funzione della Magnitudo momento e dell'intensità microsismica (da Database Macrosismico italiano - INGV):

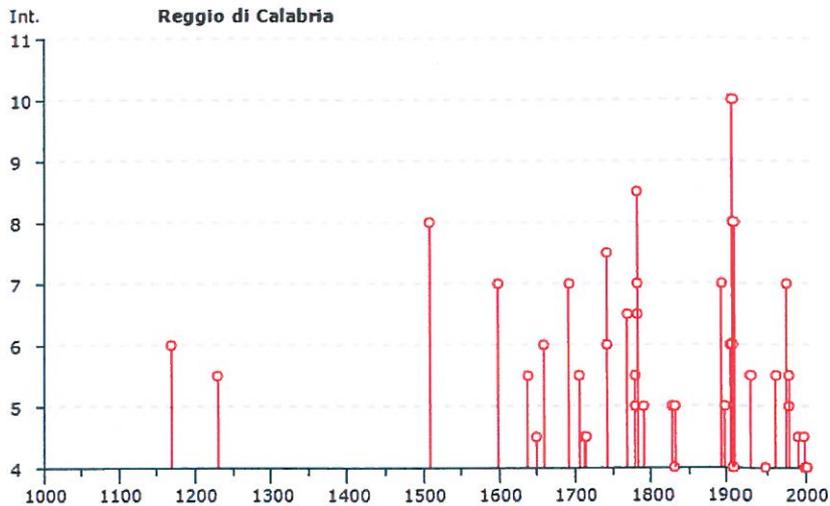
Reggio Calabria, 1509 M = 5,6

Aspromonte, 1783 M = 6,7

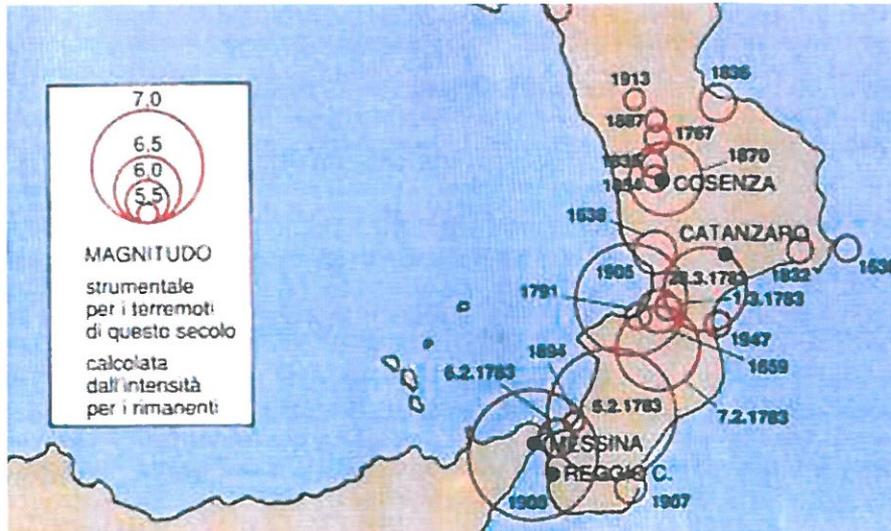
Reggio Calabria, 1806 M = 4,8

Reggio Calabria - Messina, 1908 M = 7,0

Villa San Giovanni, 1909 M = 5,1



Eventi sismici che hanno interessato la città di Reggio Calabria negli ultimi 1000 anni (da INGV – Database macrosismico 2011)



STRALCIO CARTE DEI TERREMOTI CARTA DELLE ISOSISME RELATIVE AGLI EVENTI DEL 1783, 1894, 1908

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO (ORDINANZA DEL P.C.M. N°3274/03)

E' stata determinata la velocità di propagazione della onda elastica di taglio trasversale per i 30,00 m di profondità attraverso n° 4 prove MASW (*Multichannel Analysis Surface Waves*) e n° 3 prove sismiche a rifrazione con acquisizione tomografica.

Il valore della velocità media equivalente delle onde di taglio ($V_{s,30}$), ottenuto dal Modello Medio dell'elaborazione dei dati acquisiti attraverso la base sismica, è risultato essere:

- Vasca di disconnessione n°1:

$$V_{s,30} (0.00 - 30.00) = 379 \text{ m/s}$$

- Vasca di disconnessione n°2 e condotta di bypass :

$$V_{s,30} (0.00 - 30.00) = 375 \text{ m/s}$$

- Tratto di bypass di valle:

$$V_{s,30} (0.00 - 30.00) = 448 \text{ m/s}$$

- Tratto della camera di manovra terminale:

$$V_{s,30} (0.00 - 30.00) = 1173 \text{ m/s}$$

5

➤ Classificazione sismica del sito:

Sulla base delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei terreni studiati e tenendo conto delle condizioni più sfavorevoli, si può dire che il sito d'interesse appartiene alla Categoria:

B

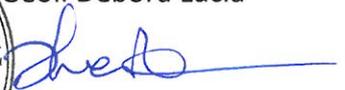
dei Profili stratigrafici definiti dall'Ordinanza del P.C.M. n.3274 del 25/03/2009.

Di seguito si allegano le relazioni geofisiche con l'elaborazione delle prove sismiche.



Il Geologo

Dott.ssa Geol. Debora Lucia





COMUNE DI REGGIO CALABRIA

Provincia di Reggio Calabria

**RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE
TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P**

“Lavori di completamento per lo schema idrico sulla diga del Torrente Menta: Opere di by-pass del tratto terminale della condotta forzata per l'avvio dell'adduzione idropotabile”

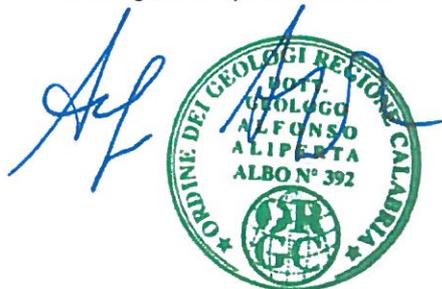


Committente: dott. geol. Aliperta Alfonso
per conto della Sorical spa

Località: Reggio Calabria (RC)

Data: Aprile 2016

Per presa visione
dott. geol. Aliperta Alfonso



Il Tecnico Prospettore:
dott. Stefano SGRO'

GeoSGRO' di Stefano Sgrò
Via Ariella, 70; 89038 Marina di Palizzi (RC)
P.IVA: 02214640803 - REA RC N. 176219

GeoSGRO'
SERVIZI PER LA GEOLOGIA

dott. Stefano Sgrò
Via Ariella, 70;
89038 Marina di Palizzi (RC)
Tel/Fax: 0965 763587
cell. 347 9623327

C.F.: SGRSFN73C21H224Q
Partita IVA: 02214640803
Iscrizione REA N. 176219
Albo Imprese Artigiane N. 46984
www.geosgro.it - info@geosgro.it

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dal dott. geol. Aliperta Alfonso, per conto della Sorical spa, la GeoSGRO' di Stefano Sgrò ha condotto una campagna d'indagine geognostica attraverso l'esecuzione di N. 3 Tomografie sismiche a Rifrazione in Onde P. Tale campagna d'indagine è stata eseguita nell'ambito del Progetto: *"Lavori di completamento per lo schema idrico sulla diga del Torrente Menta: Opere di by-pass del tratto terminale della condotta forzata per l'avvio dell'adduzione idropotabile"*.

L'ubicazione delle basi sismiche è stata disposta dal tecnico cui è stata affidata la progettazione e la Direzione Lavori delle indagini geognostiche.

La campagna d'indagine geofisica, condotta nel rispetto dello stato dell'arte e delle linee guida dettate dalla letteratura scientifica, è conforme alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e s.m.i., al D.M. 14 gennaio 2008 *"Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"* e alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle *"Nuove norme tecniche per le costruzioni"* di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

2. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Vista Ubicazione BASE SISMICA A RIFRAZIONE CONDOTTA SORICAL 1



Vista Ubicazione BASE SISMICA A RIFRAZIONE CONDOTTA SORICAL 2



Vista Ubicazione BASE SISMICA A RIFRAZIONE CONDOTTA SORICAL 3

3. IL METODO SISMICO A RIFRAZIONE

La sismica a rifrazione utilizza le onde acustiche nei corpi solidi. La generazione delle onde acustiche avviene utilizzando come energizzazione un martello percussore, una massa battente oppure una piccola carica esplosiva. Le onde sismiche (sonore) viaggiano nel sottosuolo a differente velocità a seconda dei litotipi attraversati e subiscono lungo le superfici di discontinuità geologica i fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione.

Le superfici di confine degli strati geologici, caratterizzati da una differenza di velocità tra lo strato superiore (V_1) e lo strato ad esso sottostante (V_2), producono dei raggi rifratti che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato "più veloce") rifrangendo continuamente verso l'alto (quindi verso lo strato "più lento") energia elastica.

Una delle condizioni principali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità di propagazione delle onde sismiche aumenti con la profondità ($V_1 < V_2$). Un altro requisito indispensabile per il buon funzionamento di questa metodologia è che gli strati posseggano uno spessore sufficiente per essere rilevati; in caso contrario occorre aumentare il numero di geofoni e diminuirne la spaziatura.

L'energia rifratta che ritorna alla superficie viene misurata utilizzando dei geofoni.

Attraverso lo studio dei tempi di percorso e quindi delle velocità si può risalire alla disposizione geometrica ed alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi presenti nella zona di indagine.

È buona norma commisurare l'intensità dell'energizzazione alla lunghezza dello stendimento e, quando possibile utilizzare le opzioni di controllo automatico del guadagno. Diversamente i primi arrivi potrebbero essere difficili da riconoscere sia per l'eccessiva debolezza del segnale (geofoni lontani dal punto di scoppio) sia per la possibile saturazione dei geofoni più vicini.

4. IL COMPORTAMENTO SISMICO DELLE ONDE P

Le onde P sono anche chiamate Onde Primarie in quanto si propagano nel mezzo attraversato con maggiore velocità rispetto alle altre onde. Nelle onde P, le particelle che costituiscono il mezzo attraversato vengono spostate nello stesso senso di propagazione dell'onda, in questo caso, in senso radiale. Quindi, il materiale si estende e si comprime con il propagarsi dell'onda. Le onde P viaggiano attraverso il terreno in modo analogo a quello delle onde sonore attraverso l'aria.

La velocità con la quale le onde P si propagano in un mezzo dipende dalle proprietà fisiche (cioè rigidità, densità, saturazione) e dal grado di omogeneità del terreno. Dalla sorgente di energizzazione viene emanato un "treno d'onde" i cui segnali saranno rilevati dalle stazioni riceventi ad intervalli di tempo dipendenti dalle caratteristiche elastiche del terreno. La registrazione grafica del treno d'onda in arrivo è chiamata "sismogramma". I fronti d'onda possono essere superfici sferiche o di forma qualsiasi. La propagazione di onde può quindi essere interpretata come una continua generazione di onde circolari che interferendo fra loro danno luogo a un'onda risultante osservabile macroscopicamente.

Le semirette normali ai fronti d'onda sono chiamate "raggi sismici" ed indicano la direzione di propagazione dell'onda elastica.

Per l'analisi dei dati ottenuti tramite la sismica a rifrazione, è usuale considerare sia le immagini delle onde sismiche sia i percorsi dei raggi sismici. Questi ultimi possono sostituire i fronti d'onda con buona approssimazione, permettendo di trattare soltanto i tempi di percorso delle onde elastiche e non tutte le altre grandezze tipiche di un fenomeno ondulatorio quali ampiezza, frequenza e fase.

Quando un raggio incontra un'eterogeneità sul percorso, per esempio un contatto litologico con un altro materiale, il raggio incidente si trasforma in diversi nuovi raggi. Gli angoli che il raggio incidente, i raggi riflessi ed i raggi rifratti formano con la normale alla superficie di contatto tra i due materiali sono legati fra loro ed alle velocità di propagazione da alcune relazioni note come "leggi di SNELL".

5. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

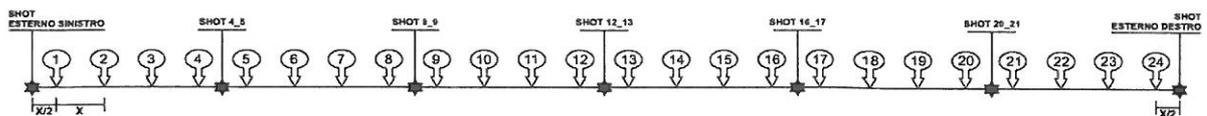
Il sismografo DoReMi a 24 canali della SARA electronic instruments s.r.l., ha le seguenti caratteristiche strumentali:

Campionamento	
Memoria:	64 kByte (>30000 campioni)
Frequenze in Hz:	200,300,400,500,800,1000,2000,3000,4000,8000,10000,20000
pari ad intervalli in ms di:	5, 3.33, 2.5, 2, 1,25, 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.125, 0.1, 0.05
Dinamica del sistema	
Risoluzione con guadagno 10x:	7.600 μ V
Risoluzione con guadagno 1000x:	0.076 μ V
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
Dinamica massima del preamplificatore:	80dB
Signal to Noise Ratio RMS fra 0.5 e 30Hz:	>90dB
Full range a 10x:	0.5V p-p
Risoluzione RMS a 1000x e 4000SPS:	0.0000002V p-p
Dinamica totale teorica:	155dB
Dinamica totale senza postprocessing:	> 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento)
Dinamica totale in postprocessing:	>140dB
Convertitore A/D	
Tipologia:	SAR
Risoluzione:	16 bit
Dinamica:	96 dB
Preamplificatore	
Tipologia:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri:	3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli
Guadagni:	da 10x a 8000x
Reiezione di modo comune:	>80dB
Impedenza d'ingresso:	>100k Ω

6. MODALITA' ESECUTIVE DELLA PROVA E ACQUISIZIONE DATI

Le prospezioni sismiche a rifrazione sono state condotte con uno stendimento geofonico di 24m (CONDOTTA SORICAL 1; CONDOTTA SORICAL 3) e 48m (CONDOTTA SORICAL 2). Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace) posizionati lungo il profilo di indagine con offset di 1.00m (CONDOTTA SORICAL 1; CONDOTTA SORICAL 3) e 2.00m (CONDOTTA SORICAL 2). Come sorgente sismica è stata utilizzata una mazza da 8kg che impatta verticalmente su una piastra circolare in alluminio.

Per la disposizione dei geofoni, è stato definito un allineamento mantenendo una equidistanza ripetitiva lungo tutta la tratta della base sismica, come evidenziato nello schema sottostante.



Per quanto riguarda l'inizio della registrazione è stato utilizzato un geofono "starter" posizionato in aderenza alla piastra di battuta e collegato allo strumento in modo da garantire uno scarto di errore sul "Tempo Zero" non superiore a 1msec.

Per la base sismica sono stati effettuati N. 7 punti di energizzazione (tiri o shot) lungo lo stendimento sismico:

- energizzazione posta a $X/2$ verso l'esterno rispetto al geofono N. 1 (shot estremo sinistro)
- energizzazione posta tra i geofoni N. 4 e N. 5 (shot 4_5)
- energizzazione posta tra i geofoni N. 8 e N. 9 (shot 8_9)
- energizzazione posta tra i geofoni N. 12 e N. 13 (shot 12_13)
- energizzazione posta tra i geofoni N. 16 e N. 17 (shot 16_17)
- energizzazione posta tra i geofoni N. 20 e N. 21 (shot 20_21)
- energizzazione posta a $X/2$ verso l'esterno rispetto al geofono N. 24 (shot estremo destro)

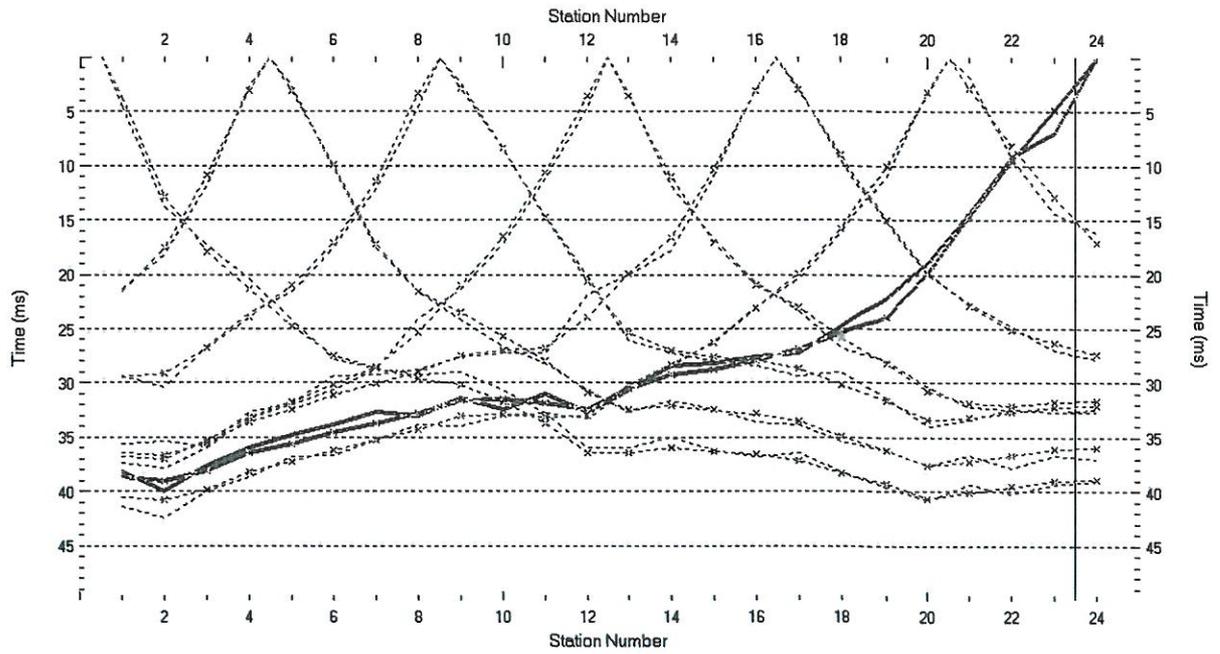
I segnali sismici sono stati acquisiti in formato digitale e successivamente trasferiti verso il software di elaborazione.

7. ELABORAZIONE DATI

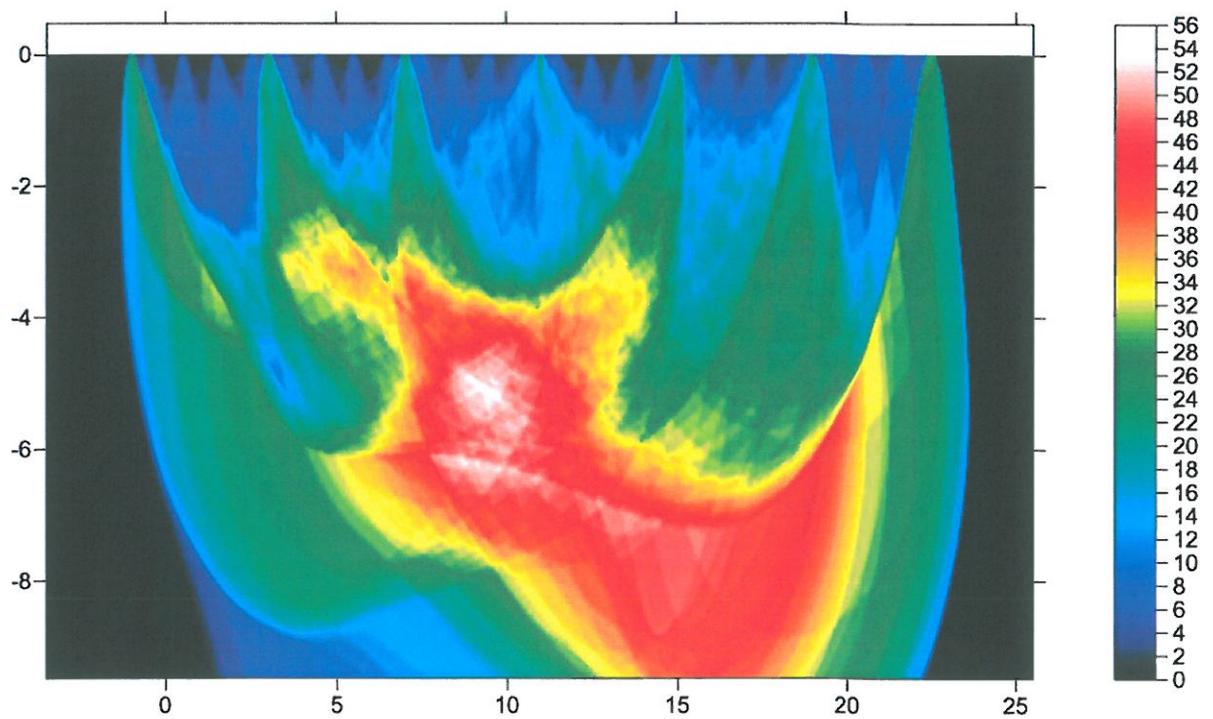
L'intero processo di elaborazione dei dati è stato effettuato con il programma *RAYFRACT* della *Intelligent Resources Inc.* (licenza d'uso Geosgrò di Stefano Sgrò). La successiva fase di imaging è stata eseguita con il programma *SURFER 11* della *Golden Software Inc.* (licenza d'uso Geosgrò di Stefano Sgrò). Gli elaborati relativi alla prova eseguita sono riportati di seguito:

8. BASE SISMICA A RIFRAZIONE CONDOTTA SORICAL 1

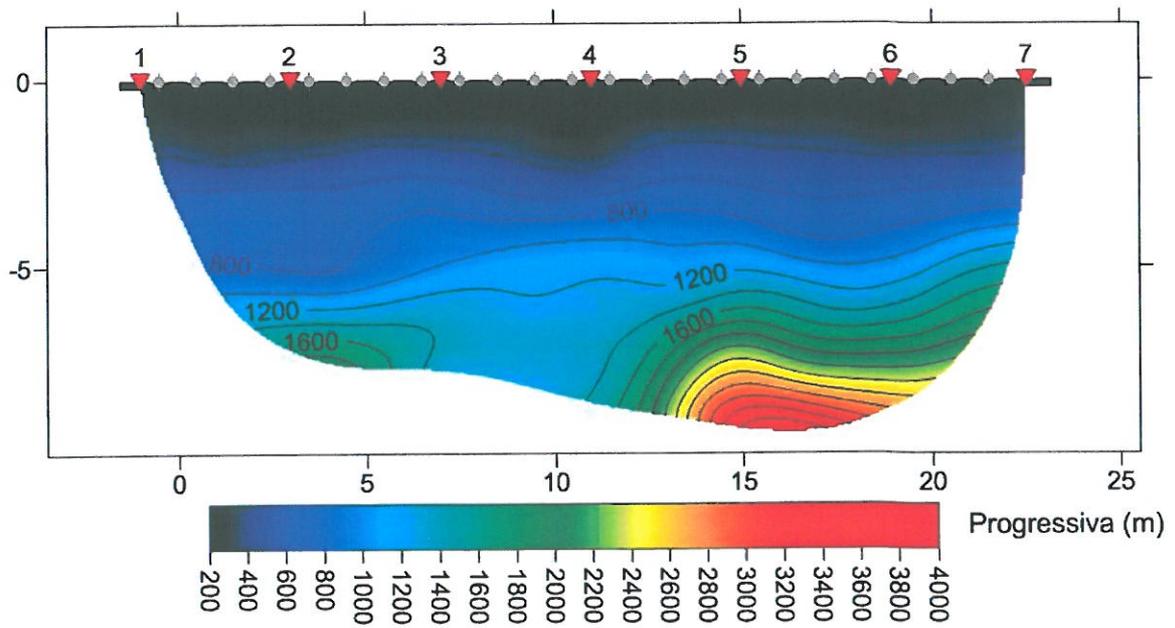
DROMOCRONE



PERCORSO DEI RAGGI SISMICI

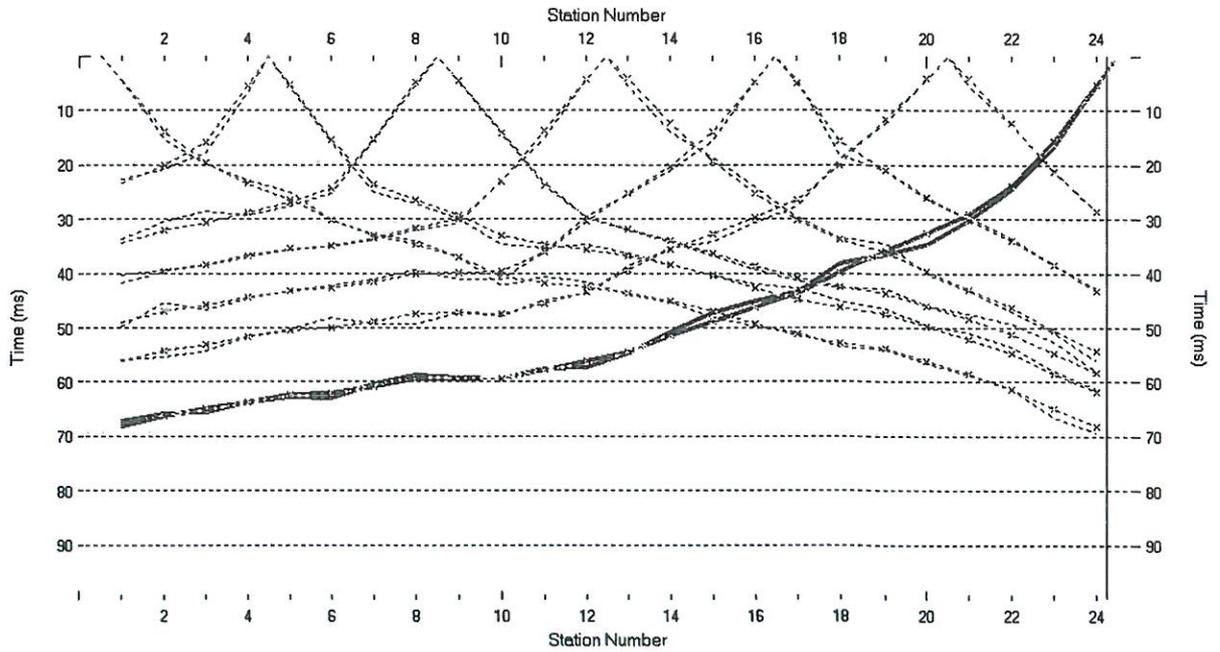


Sezione Tomografica (Condotta Sorical 1)

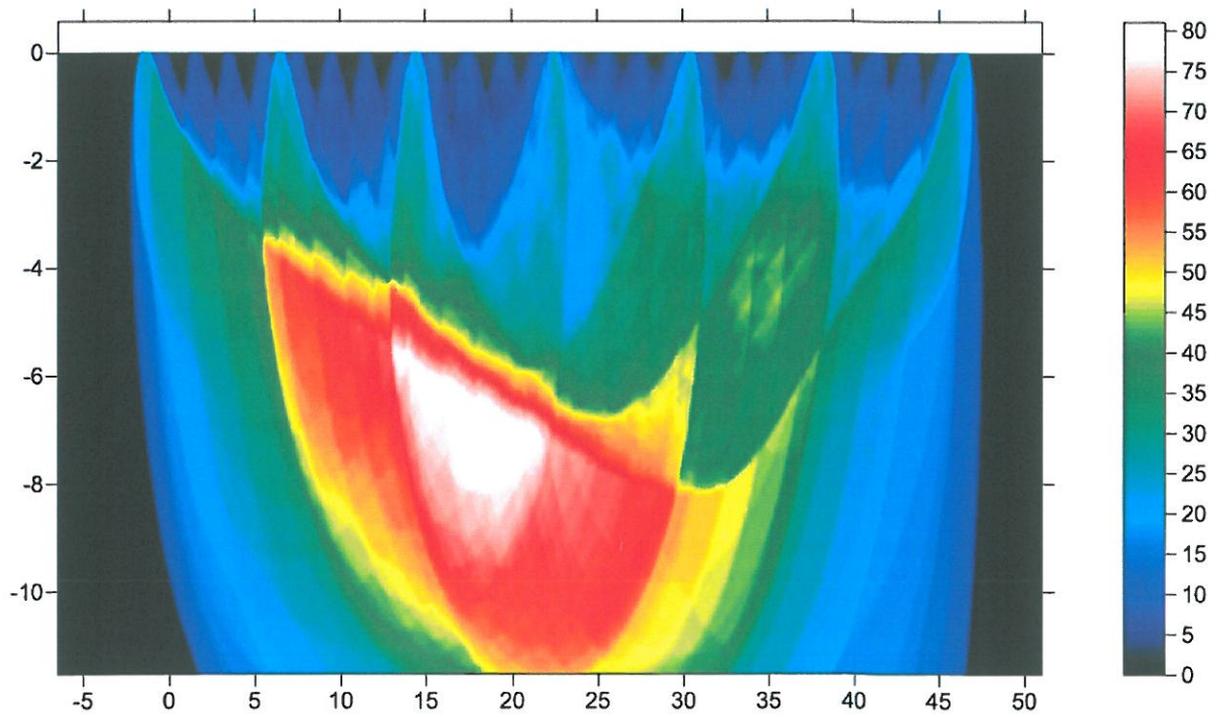


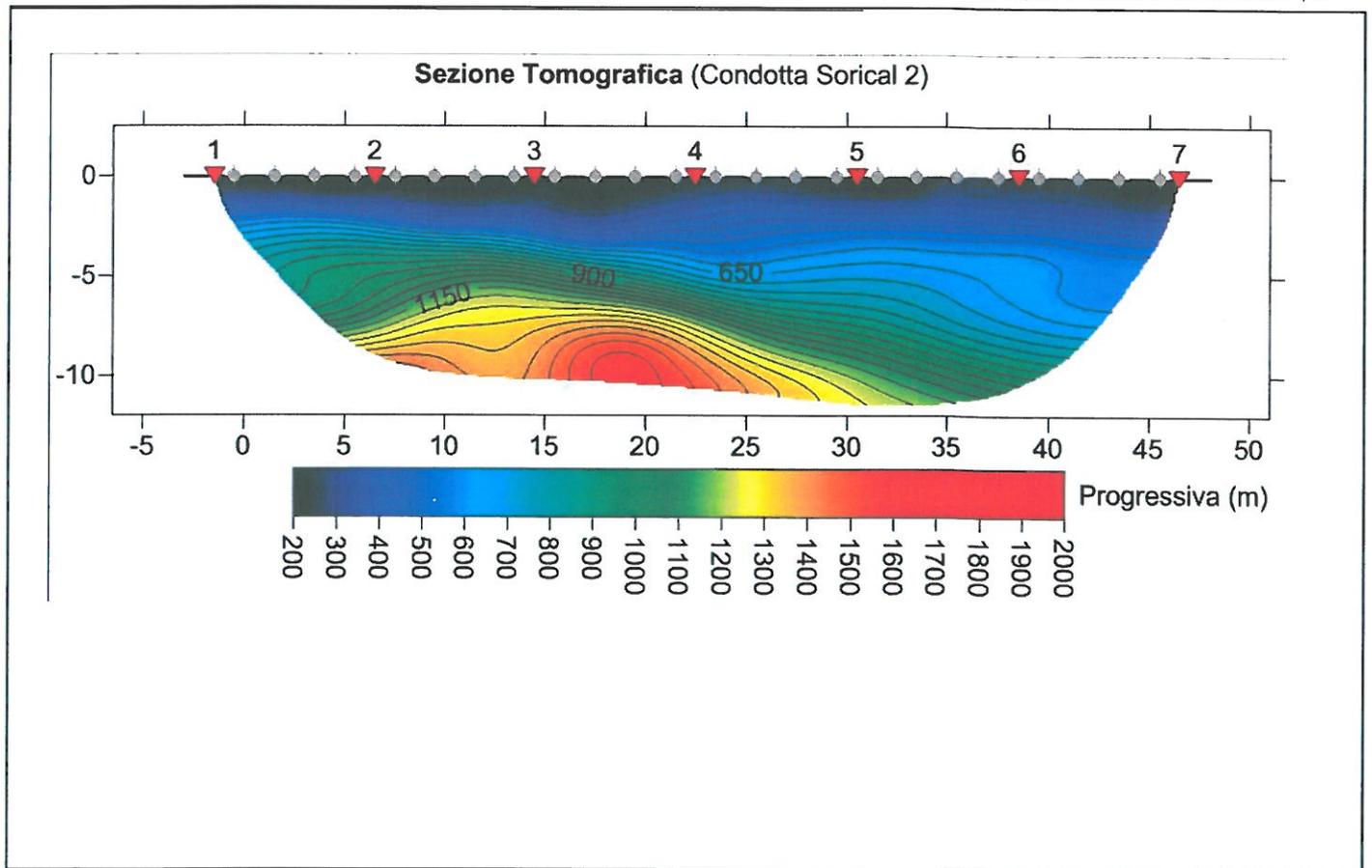
9. BASE SISMICA A RIFRAZIONE CONDOTTA SORICAL 2

DROMOCRONE



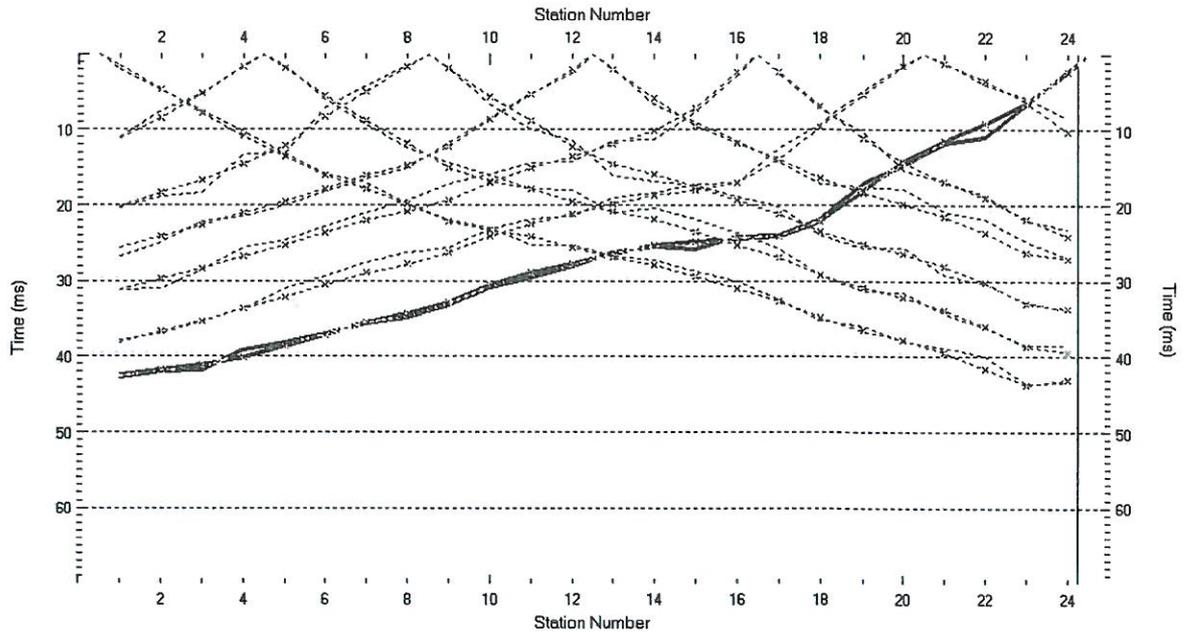
PERCORSO DEI RAGGI SISMICI



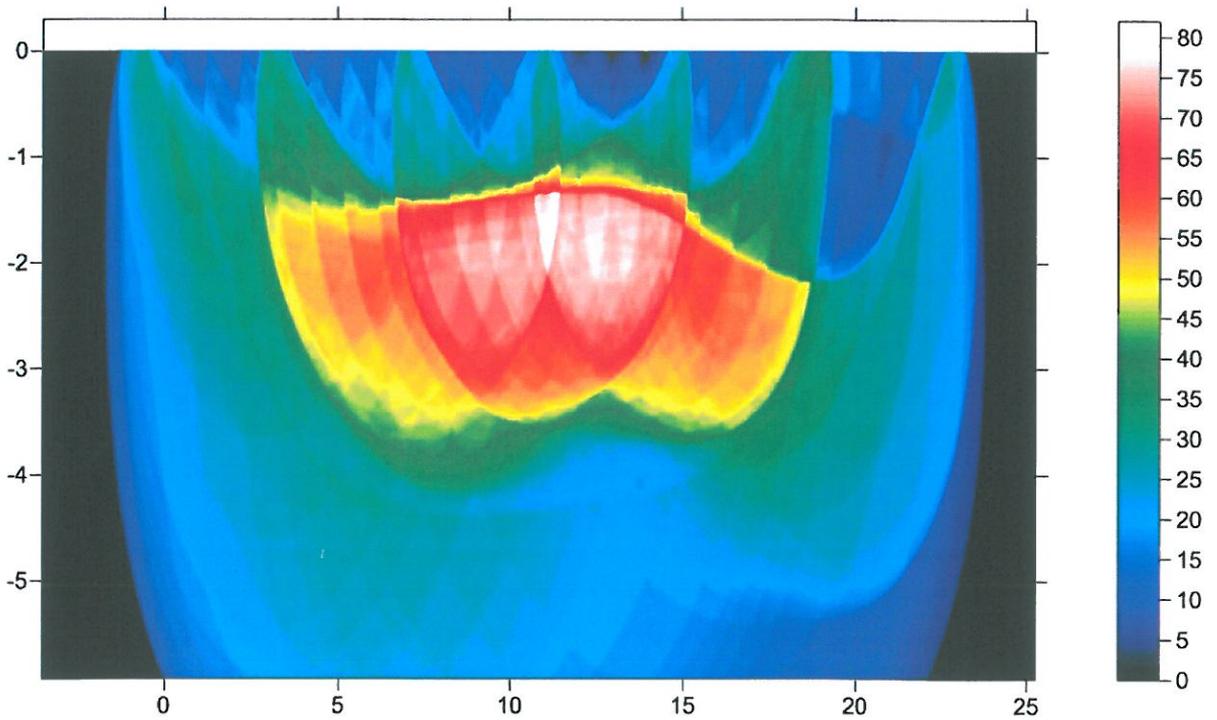


10. BASE SISMICA A RIFRAZIONE CONDOTTA SORICAL 3

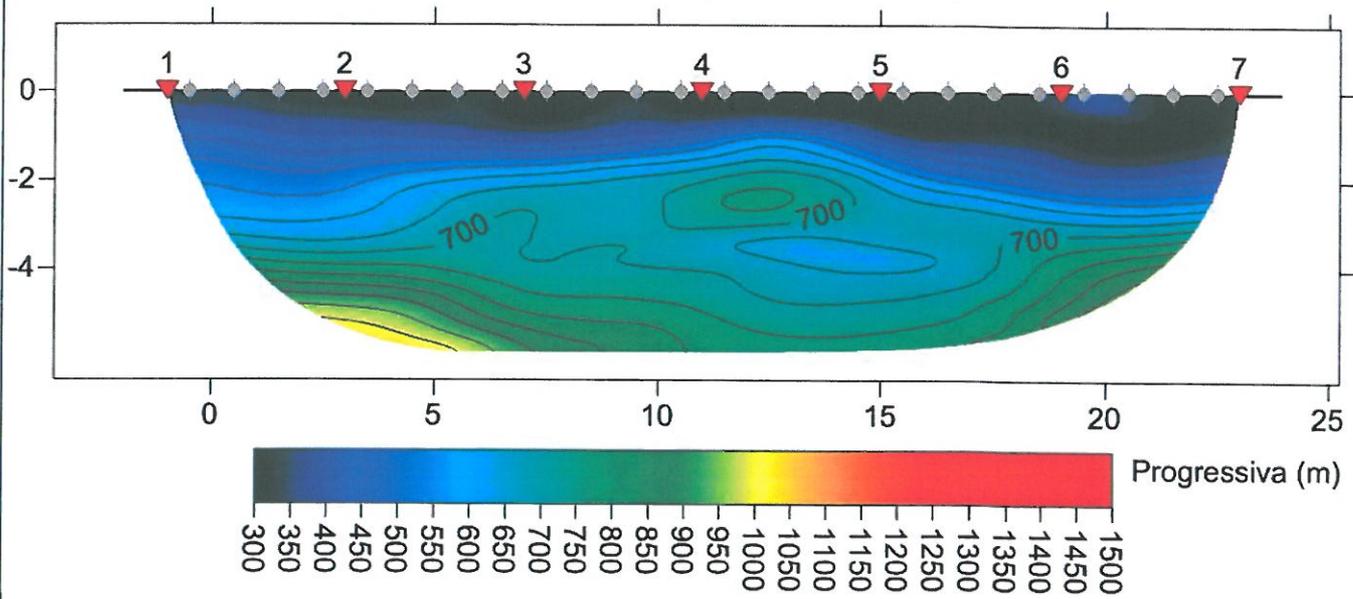
DROMOCRONE



PERCORSO DEI RAGGI SISMICI



Sezione Tomografica (Condotta Sorical 3)



Marina di Palizzi (RC), Aprile 2016

Il tecnico prospettore: dott. Stefano SGRO'

GeoSGRO' di Stefano Sgro'
Via Asella, 70, 89038 Marina di Palizzi (RC)
P.IVA 08214540803 - REA RC n. 176219
Stefano Sgro'



COMUNE DI REGGIO CALABRIA

Provincia di Reggio Calabria

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE
PROSPEZIONE SISMICA MASW
(Multichannel Analysis of Surface Waves)

“Lavori di completamento per lo schema idrico sulla diga del Torrente Menta: Opere di by-pass del tratto terminale della condotta forzata per l'avvio dell'adduzione idropotabile”



Committente: dott. geol. Aliperta Alfonso
per conto della Sorical spa

Località: Reggio Calabria (RC)

Data: Aprile 2016

Per presa visione
dott. geol. Aliperta Alfonso




Il Tecnico Prospettore:
dott. Stefano SGRO'

GeoSGRO' di Stefano Sgrò
Via Ariella, 70; 89038 Marina di Palizzi (RC)
P.IVA 02214640803 - REA RC N. 176219



GeoSGRO'
SERVIZI PER LA GEOLOGIA

dott. Stefano Sgrò
Via Ariella, 70;
89038 Marina di Palizzi (RC)
Tel/Fax: 0965 763587
cell. 347 9623327

C.F.: SGRSFN73C21H224Q
Partita IVA: 02214640803
Iscrizione REA N. 176219
Albo Imprese Artigiane N. 46984
www.geosgro.it - info@geosgro.it

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dal dott. geol. Aliperta Alfonso, per conto della Sorical spa, la GeoSGRO' di Stefano Sgrò ha condotto una campagna d'indagine geognostica attraverso l'esecuzione di N. 3 prospezioni sismiche Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves). Tale campagna d'indagine è stata eseguita nell'ambito del Progetto: *"Lavori di completamento per lo schema idrico sulla diga del Torrente Menta: Opere di by-pass del tratto terminale della condotta forzata per l'avvio dell'adduzione idropotabile"*.

L'ubicazione della base sismica è stata disposta dal tecnico cui è stata affidata la progettazione e la Direzione Lavori delle indagini geognostiche.

La campagna d'indagine geofisica, condotta nel rispetto dello stato dell'arte e delle linee guida dettate dalla letteratura scientifica, è conforme alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e s.m.i., al D.M. 14 gennaio 2008 *"Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"* e alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle *"Nuove norme tecniche per le costruzioni"* di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

2. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Vista Ubicazione BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 1



Vista Ubicazione BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 2



Vista Ubicazione BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 3

3. PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

La determinazione della velocità delle onde di taglio V_s tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (D.M. 14.01.2008 "Norme tecniche per le Costruzioni").

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.

Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative poco onerose ed hanno un grado di incertezza nella determinazione delle V_s <15%.

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5Hz e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti metodologie: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time ANalysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

4. PROSPEZIONI SISMICHE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo MASW (Park et al., 1999), sviluppato in parte per superare le difficoltà dell'applicazione del SASW in ambienti rumorosi, è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde S. Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale.

L'analisi delle onde S, mediante tecnica MASW, viene eseguita attraverso la trattazione spettrale del sismogramma, a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, ed è caratteristico di questo tipo di onde. La registrazione simultanea di 24 canali, separati da 0,5m a 10m, fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità. Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di distinguere e evidenziare, durante l'analisi, le onde di Rayleigh presenti nel record che, normalmente, sono caratterizzate da un'elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si distribuisce in onde di superficie). Una particolare analisi spettrale, permette di distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs per successiva inversione 1-D.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro. La curva di dispersione in realtà può non essere così facile da estrarre, questo perché dipende molto dalla pulizia dei dati e da quanto disturbano gli altri segnali presenti nel sismogramma. Ecco perché questa fase in realtà deve essere considerata una interpretazione, e per questo i migliori software di analisi di dati MASW consentono di modificare anche manualmente la curva di dispersione per soddisfare le esigenze che derivano dal contesto geologico locale. La curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione sperimentale approssimativamente coincidente con la curva sperimentale. Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta fase di inversione, e indipendentemente dal software usato, può anch'essa avvenire in maniera automatica e/o manuale. Entrambe le due fasi di interpretazione, per quanto debbano seguire le linee guida dettate dalla teoria, devono rigorosamente essere controllate accuratamente dall'utente poiché non è possibile affidarsi completamente ad un sistema automatico che lavora alla ricerca della soluzione matematicamente migliore, infatti quasi mai questa coincide con la soluzione geologicamente migliore.

5. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

Il sismografo DoReMi a 24 canali della SARA electronic instruments s.r.l., ha le seguenti caratteristiche strumentali:

Campionamento	
Memoria:	64 kByte (>30000 campioni)
Frequenze in Hz:	200,300,400,500,800,1000,2000,3000,4000,8000,10000,20000
pari ad intervalli in ms di:	5, 3.33, 2.5, 2, 1,25, 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.125, 0.1, 0.05
Dinamica del sistema	
Risoluzione con guadagno 10x:	7.600 μ V
Risoluzione con guadagno 1000x:	0.076 μ V
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
Dinamica massima del preamplificatore:	80dB
Signal to Noise Ratio RMS fra 0.5 e 30Hz:	>90dB
Full range a 10x:	0.5V p-p
Risoluzione RMS a 1000x e 4000SPS:	0.0000002V p-p
Dinamica totale teorica:	155dB
Dinamica totale senza postprocessing:	> 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento)
Dinamica totale in postprocessing:	>140dB
Convertitore A/D	
Tipologia:	SAR
Risoluzione:	16 bit
Dinamica:	96 dB
Preamplificatore	
Tipologia:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri:	3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli
Guadagni:	da 10x a 8000x
Reiezione di modo comune:	>80dB
Impedenza d'ingresso:	>100k Ω

6. MODALITA' ESECUTIVE DELLA PROVA E ACQUISIZIONE DATI

Le prospezioni sismiche Masw sono state condotte con uno stendimento geofonico di 24m (Figura 1). Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con offset di 1.00m (X). Come sorgente sismica è stata utilizzata una mazza da 8kg che impatta verticalmente su una piastra circolare in alluminio. Al fine di avere più *dataset*, sono state eseguite più acquisizioni con diversi *offset minimi* (2X; 4X; ...).

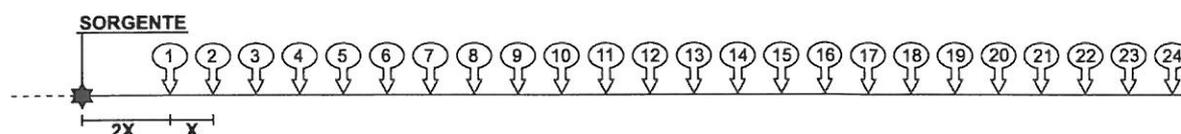


Figura 1: schema stendimento base sismica MASW

7. ELABORAZIONE DATI

L'intero processo di elaborazione dei dati e dell'inversione delle curve di dispersione è stato effettuato con il programma winMASW 5.2 PRO della Eliosoft (licenza d'uso: Geosgrò di Stefano Sgrò). Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono riportati di seguito (Figura 2 - 10):

8. BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 1

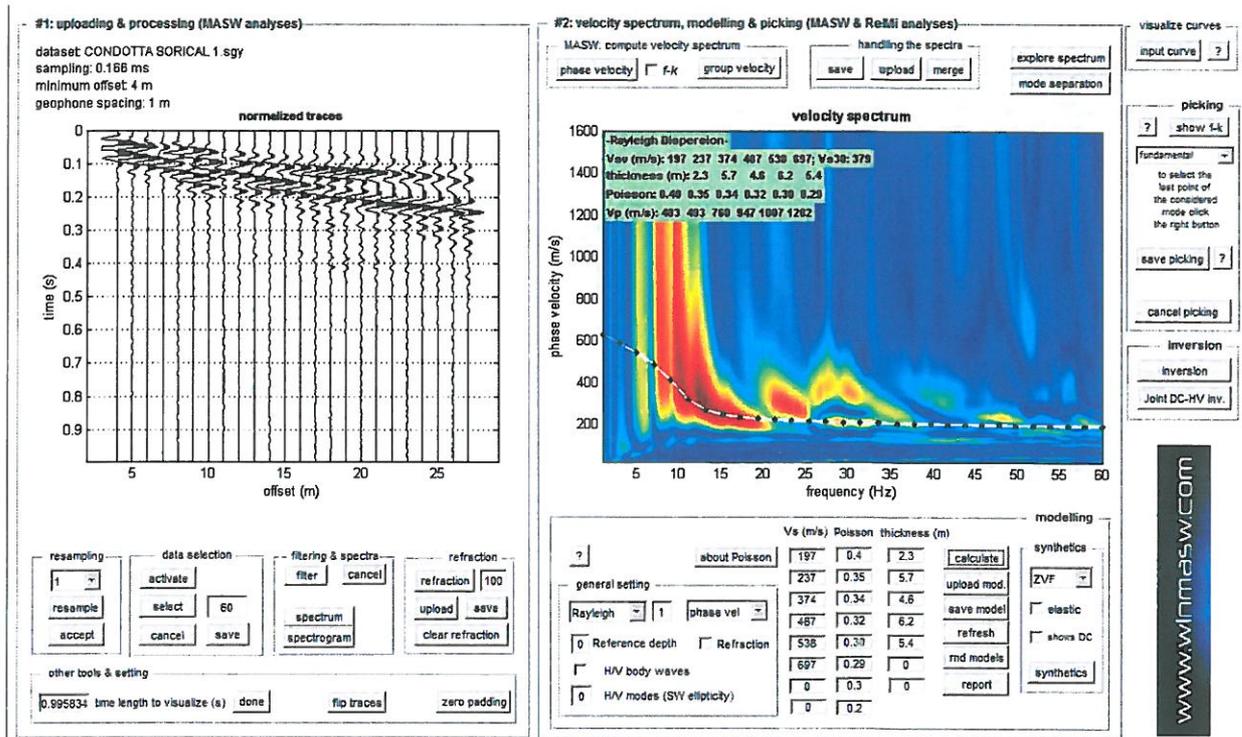


Figura 2: Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

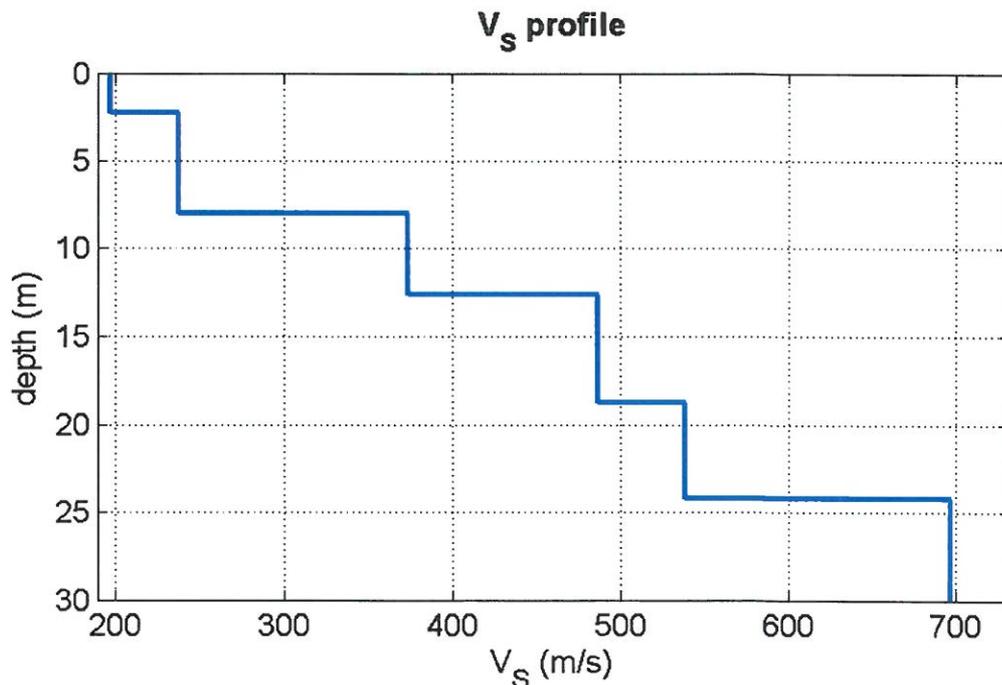


Figura 3: Profilo verticale Vs identificato

9. SISMOSTRATIGRAFIA BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 1

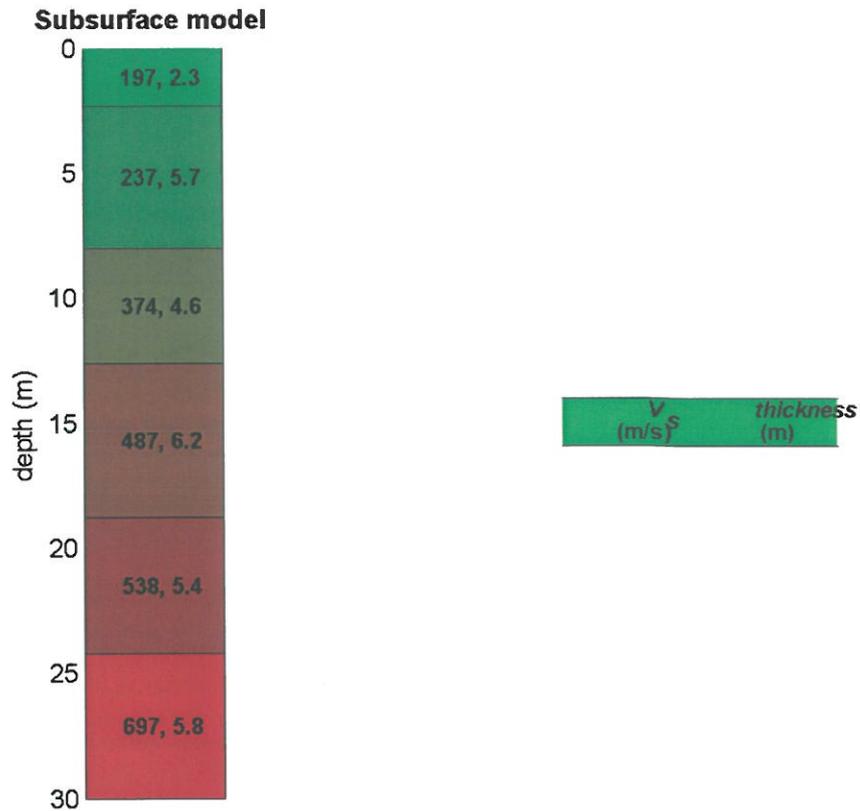


Figura 4: Sismostratigrafia a partire dal piano campagna.

10. MODELLO MEDIO BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 1

Facendo riferimento al modello medio (Vs e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione, di seguito si riporta un quadro con la stima della Vp, della densità e di alcuni Moduli elastici.

N. STRATO	SPESSORE (Thickness) (m)	Vs (m/s)	DENSITA' (gr/cm ³)	MODULO di TAGLIO (MPa)	Vp (m/s)	POISSON
1	2.3	197	1.88	73	483	0.40
2	5.7	237	1.88	106	493	0.35
3	4.6	374	1.99	278	760	0.34
4	6.2	487	2.04	484	947	0.32
5	5.4	538	2.06	595	1007	0.30
6	Semi-Spazio	697	2.11	1027	1282	0.29

11. BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 2

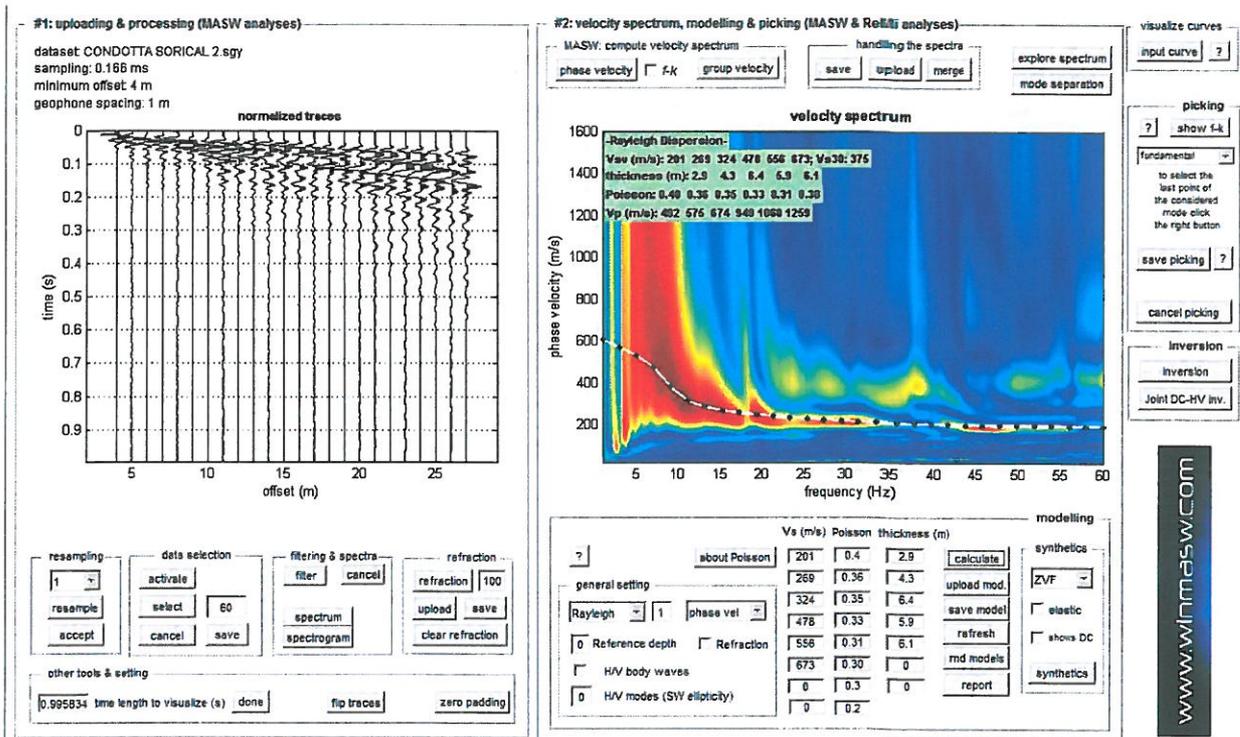


Figura 5: Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

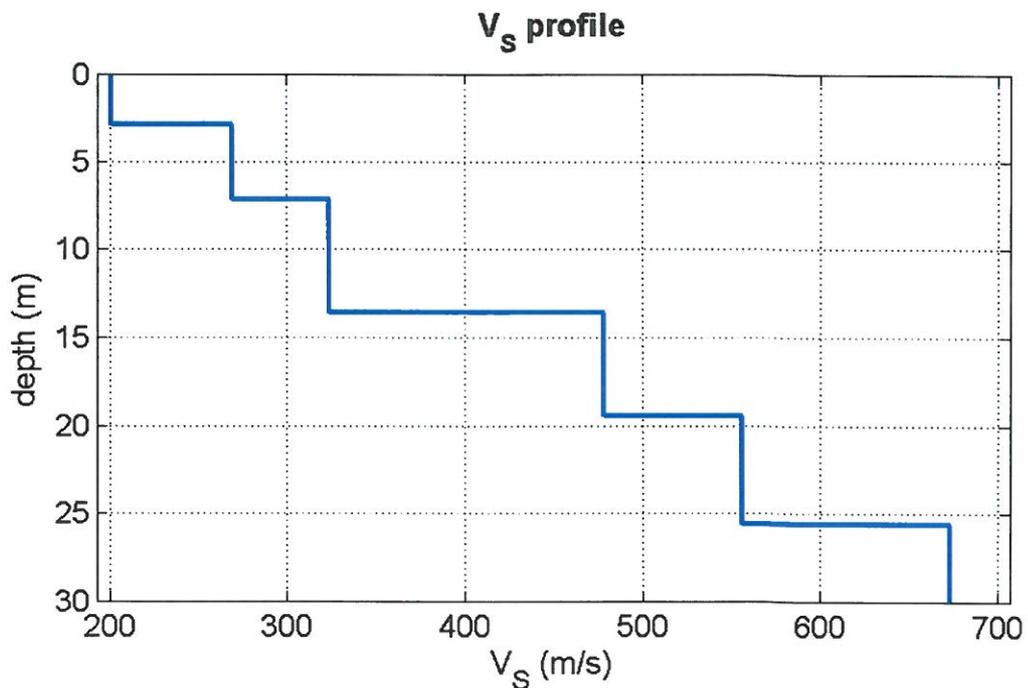


Figura 6: Profilo verticale Vs identificato

12. SISMOSTRATIGRAFIA BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 2

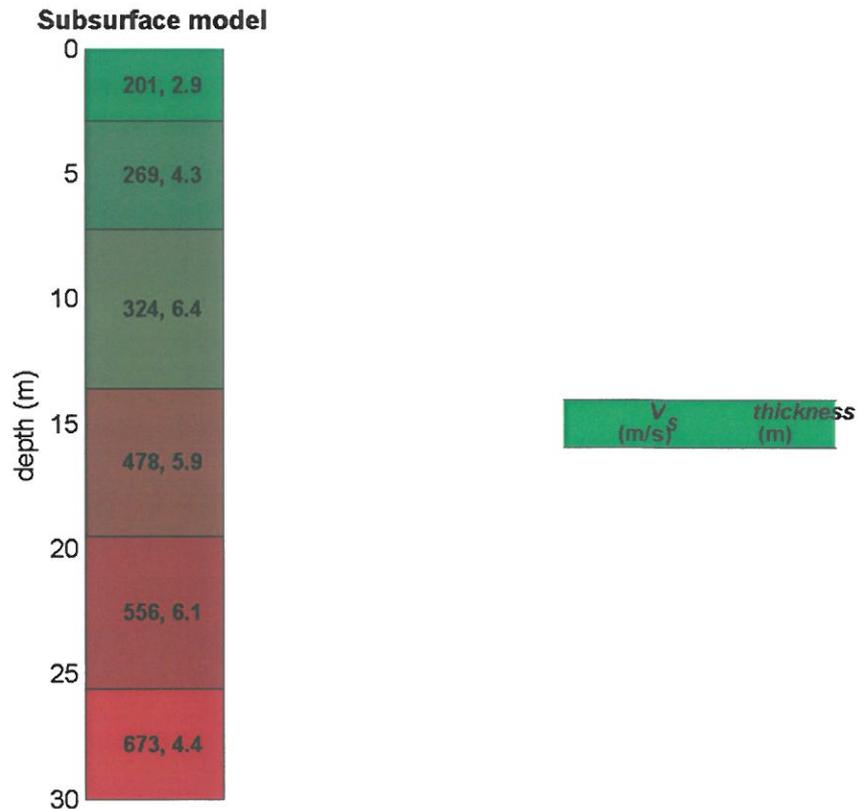


Figura 7: Sismostratigrafia a partire dal piano campagna.

13. MODELLO MEDIO BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 2

Facendo riferimento al modello medio (V_s e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione, di seguito si riporta un quadro con la stima della V_p , della densità e di alcuni Moduli elastici.

N. STRATO	SPESSORE (Thickness) (m)	V_s (m/s)	DENSITA' (gr/cm ³)	MODULO di TAGLIO (MPa)	V_p (m/s)	POISSON
1	2.9	201	1.88	76	492	0.40
2	4.3	269	1.92	139	575	0.36
3	6.4	324	1.96	206	674	0.35
4	5.9	478	2.04	466	949	0.33
5	6.1	556	2.07	639	1060	0.31
6	Semi-Spazio	673	2.11	956	1259	0.30

14. BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 3

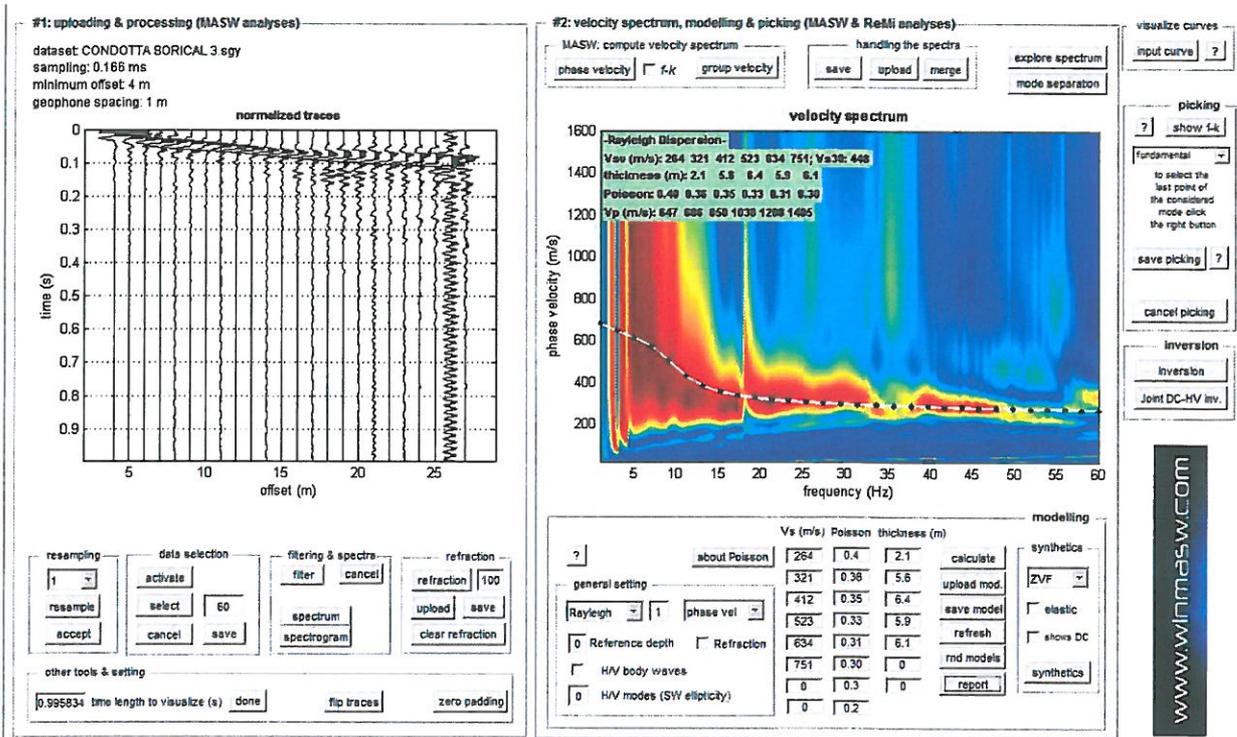


Figura 8: Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

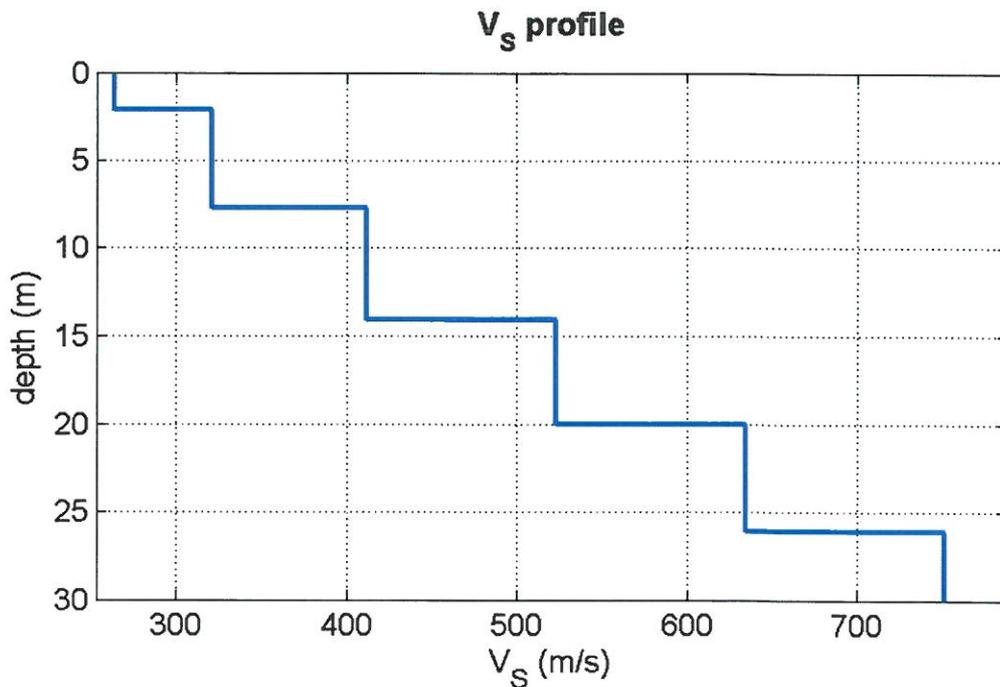


Figura 9: Profilo verticale Vs identificato

15. SISMOSTRATIGRAFIA BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 3

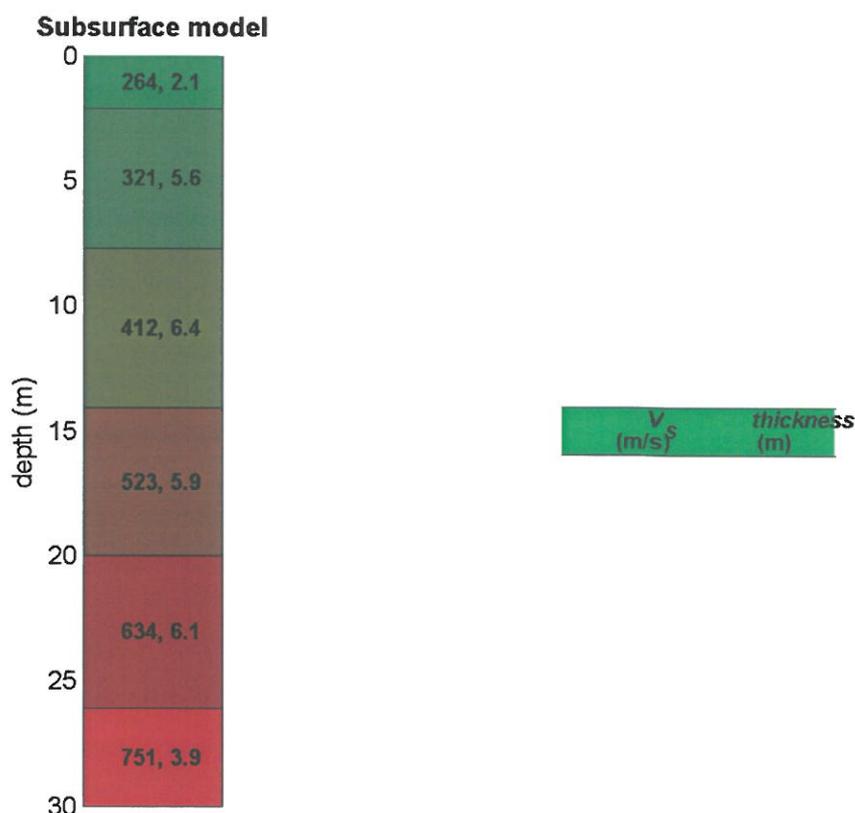


Figura 10: Sismostratigrafia a partire dal piano campagna.

16. MODELLO MEDIO BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 3

Facendo riferimento al modello medio (V_s e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione, di seguito si riporta un quadro con la stima della V_p , della densità e di alcuni Moduli elastici.

N. STRATO	SPESSORE (Thickness) (m)	V_s (m/s)	DENSITA' (gr/cm^3)	MODULO di TAGLIO (MPa)	V_p (m/s)	POISSON
1	2.1	264	1.95	136	647	0.40
2	5.6	321	1.96	202	686	0.36
3	6.4	412	2.02	342	858	0.35
4	5.9	523	2.06	564	1038	0.33
5	6.1	634	2.10	844	1208	0.31
6	Semi-Spazio	751	2.14	1205	1405	0.30

Le formule per il calcolo dei Moduli elastici in funzione di Vs, Vp e densità, sono:

Modulo di Poisson (adimensionale)	$(V_p^2 - 2V_s^2) / 2(V_p^2 - V_s^2)$
Modulo di Young (in Pa)	$\rho V_s^2 (4 - 3k^2) / (1 - k^2)$
Modulo di Taglio (in Pa)	ρV_s^2
Modulo di Compressione o di Bulk (in Pa)	$\rho V_s^2 (k^2 - 4/3)$

Dove:

$k = V_p/V_s$;

$\rho =$ densità (Kg/m³);

Vp e Vs = velocità onde di taglio e compressionali in m/s

Per convertire in MegaPascal (MPa) i valori espressi in Pascal (Pa), è sufficiente dividere il numero per 10⁶ (Mega = 1 milione).

Risulta necessario sottolineare che la dispersione delle onde di Rayleigh dipende essenzialmente dalla Vs e dalla potenza degli strati (geometria). Pertanto i valori della densità e della Vp, con i conseguenti Moduli elastici, devono essere considerati come delle stime preliminari.

Tuttavia, non dipendendo dalla Vp ma solamente dalla Vs e dalla densità, il valore del Modulo di Taglio rappresenta certamente una buona stima.

17. CALCOLO Vs30 (D.M. 14/01/2008 N.T.C.)

La velocità media equivalente di propagazione, entro 30 m di profondità, delle onde di taglio viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ m/s}$$

dove: h_i = spessore dell'i-esimo strato nei primi 30 m;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde S nell'i-esimo strato;

N = numero di strati nei primi 30 m di profondità;

Il valore della velocità media equivalente delle onde di taglio ($V_{s,30}$), ottenuto dal Modello Medio dell'elaborazione dei dati acquisiti attraverso la base sismica, è risultato essere:

- per la BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 1

- in riferimento al piano campagna: $V_{s,30} (0.00 - 30.00) = 379 \text{ m/s}$

Se si considerano diverse profondità per il piano fondazionale, il parametro $V_{s,30}$ diventa:

- al piano fondazionale posto a -1.00m dal p.c.: $V_{s,30} (1.00 - 31.00) = 397 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -1.50m dal p.c.: $V_{s,30} (1.50 - 31.50) = 407 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -2.00m dal p.c.: $V_{s,30} (2.00 - 32.00) = 418 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -2.50m dal p.c.: $V_{s,30} (2.50 - 32.50) = 427 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -3.00m dal p.c.: $V_{s,30} (3.00 - 33.00) = 436 \text{ m/s}$

- per la BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 2

- in riferimento al piano campagna: $V_{s,30} (0.00 - 30.00) = 375 \text{ m/s}$

Se si considerano diverse profondità per il piano fondazionale, il parametro $V_{s,30}$ diventa:

- al piano fondazionale posto a -1.00m dal p.c.: $V_{s,30} (1.00 - 31.00) = 392 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -1.50m dal p.c.: $V_{s,30} (1.50 - 31.50) = 401 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -2.00m dal p.c.: $V_{s,30} (2.00 - 32.00) = 411 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -2.50m dal p.c.: $V_{s,30} (2.50 - 32.50) = 421 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -3.00m dal p.c.: $V_{s,30} (3.00 - 33.00) = 431 \text{ m/s}$

- per la BASE SISMICA MASW CONDOTTA SORICAL 3

- in riferimento al piano campagna: $V_{s,30} (0.00 - 30.00) = 448 \text{ m/s}$

Se si considerano diverse profondità per il piano fondazionale, il parametro $V_{s,30}$ diventa:

- al piano fondazionale posto a -1.00m dal p.c.: $V_{s,30} (1.00 - 31.00) = 465 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -1.50m dal p.c.: $V_{s,30} (1.50 - 31.50) = 474 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -2.00m dal p.c.: $V_{s,30} (2.00 - 32.00) = 483 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -2.50m dal p.c.: $V_{s,30} (2.50 - 32.50) = 491 \text{ m/s}$
- al piano fondazionale posto a -3.00m dal p.c.: $V_{s,30} (3.00 - 33.00) = 498 \text{ m/s}$

Marina di Palizzi (RC), Aprile 2016

Il Tecnico Prospettore - dott. Stefano Sgrò

GeoSGRO' di Stefano Sgrò
Via A. della, 70: 89038 Marina di Palizzi (RC)
P.IVA 02214540803 - REA RC n° 176219



GEOFISICA



MISURE

S.n.c.

PROSPEZIONI E MONITORAGGI GEOFISICI SU TERRENI E MANUFATTI
87075 Trebisacce (CS), Viale della Libertà, 132, tel /fax 0981 57110
E-mail: info@geofisicamisure.it, Par IVA 02253910786, N REA 153033

COMUNE DI REGGIO CALABRIA
(PROVINCIA DI REGGIO CALABRIA)

*SISTEMA IDRICO DEL MENTA
LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLO SCHEMA IDRICO
DEL TORRENTE MENTA: OPERE DI BY-PASS DEL
TRATTO TERMINALE DELLA CONDOTTA FORZATA
PER L'AVVIO DELL'ADDUZIONE IDROPOTABILE*

*PROSPEZIONE SISMICA AD ONDE LONGITUDINALI (P)
PROSPEZIONE SISMICA CON METODOLOGIA MASW*

COMMITTENTE: Dr.ssa Geol. Debora LUCIA



I tecnici responsabili

Dr. Giuseppe Mainieri Dr. Giuseppe Ferraro

Premessa

In riferimento al *SISTEMA IDRICO DEL MENTA – Lavori di completamento dello schema idrico del torrente Menta: opere di by-pass del tratto terminale della condotta forzata per l'avvio dell'adduzione idropotabile, alla Frazione San Salvatore del Comune di REGGIO CALABRIA (RC)*, la Dr.ssa Geol. **Debora LUCIA** ha incaricato la *Geofisica Misure S.n.c.* di eseguire delle indagini geofisiche di superficie, finalizzate alla definizione del probabile profilo litostratigrafico dell'area in esame. Per tale scopo sono state realizzate: 1) una prospezione sismica a rifrazione ad onde longitudinali (P); 2) una prospezione sismica con metodologia MASW (*Multichannel Analysis Of Surface Waves*). Il contesto geolitologico dell'area investigata vede la presenza di un substrato di natura metamorfica a vario grado di fratturazione, su cui poggiano le alluvioni antiche della Fiumara Sant'Agata.

Caratteristiche delle apparecchiature

Sismografo modulare Geometrics *Geode* a 24 canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit, ad elevata dinamica, avente le seguenti caratteristiche principali:

- *Range dinamico: 144 dB di sistema.*
- *Distorsione: 0.0005 % @ 2.0 ms.*
- *Banda di acquisizione: 1.75-20.000 Hz.*
- *Accuratezza trigger: 1/32 del passo di campionamento.*
- *Impedenza: 20 Kohm.*
- *Filtri in acquisizione: LowCut: 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz 24/48 dB/Octave, Butterworth. Notch: 50, 60, 180 Hz. HighCut: 32, 64, 125, 250, 500, 1000 Hz 24/48 dB/Octave.*
- *Intervallo di campionamento: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 msec.*
- *Lunghezza di registrazione: 16.384 campioni.*
- *Pre-trigger: fino a tutta la lunghezza di registrazione.*
- *Delay: da 0 a 9999 ms in passi di una lunghezza di intervallo.*

Per il rilievo della velocità del moto del suolo sono stati utilizzati geofoni *Geospace*, con frequenza di oscillazione di 10 Hz (onde P) e di 4.5 Hz (MASW).

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE LONGITUDINALI (P)

Tecnica di rilevamento

Lo stendimento sismico è stato realizzato a 20 canali d'acquisizione, adottando una distanza intergeofonica di 2 metri. Per generare onde P rifratte d'ampiezza rilevabile, è stata utilizzata una m di 9 Kg battente su un piattello metallico. E' stato effettuato un congruo numero di punti d'energizzazione, per la cui precisa ubicazione si rimanda al modello di velocità allegato.

Interpretazione

I dati acquisiti dall'elaborazione dei sismogrammi costituiscono i primi tempi d'arrivo degli impulsi sismici longitudinali (onde di compressione) ai vari geofoni dello stendimento. Il metodo d'interpretazione utilizzato è stato del tipo tomografico, che ha consentito di evidenziare, in maniera migliore, eventuali variazioni laterali di velocità. Per l'elaborazione dei dati di campagna è stato utilizzato il software *RAYFRACT*, adatto per il *processing* di dati di profili sismici a rifrazione con *elevate* coperture, che consente di gestire reali contesti geologici. E' stata utilizzata la tecnica d'inversione tomografica *WET* (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie dell'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'*eikonal equation*, che esprime la propagazione dell'onda in un mezzo isotropo. Quindi, poiché utilizza le soluzioni di detta equazione, è considerata una tecnica ad alta frequenza, rapida ed efficiente. Per la rappresentazione della propagazione dell'onda la *WET* utilizza il concetto di "*volume di Fresnel*", definito come l'insieme delle onde che hanno tempi di percorso differenti per al più mezzo periodo. Attraverso calcoli iterativi viene aggiornato il modello di velocità e vengono ripetuti gli *step* definiti, fino al raggiungimento della convergenza.

Il software determina, tramite l'algoritmo per l'inversione tomografica *WET*, quella che è la soluzione ottimale. La bontà del modello dipende dalla geometria dello stendimento, dalle distribuzioni di velocità nel sottosuolo, dal numero e dalla posizione dei punti d'energizzazione (shots).

I risultati dell'elaborazione sono presentati in forma grafica nei seguenti elaborati:

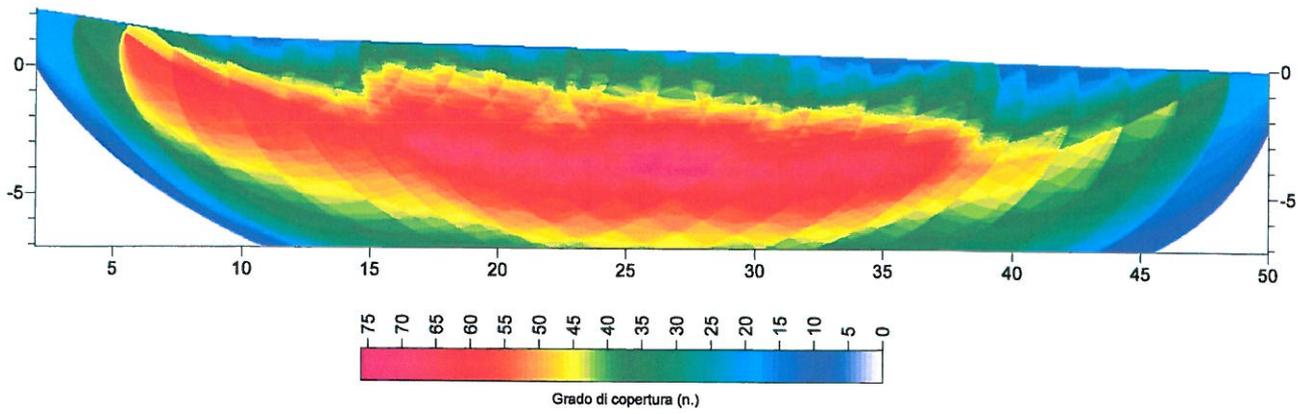
- **Modello di velocità:** rappresenta il risultato ottimale ottenuto; le velocità sono rappresentate in scale cromatiche comprese tra il minimo ed il massimo valore determinato.
- **Percorso dei raggi sismici:** consente di verificare il percorso dei raggi sismici e, conseguentemente, la copertura raggiunta. Anche in questo caso la rappresentazione è ottenuta utilizzando una scala cromatica.
- **Diagramma delle dromocrone:** visualizza le dromocrone misurate in campagna con quelle calcolate (*cross*).

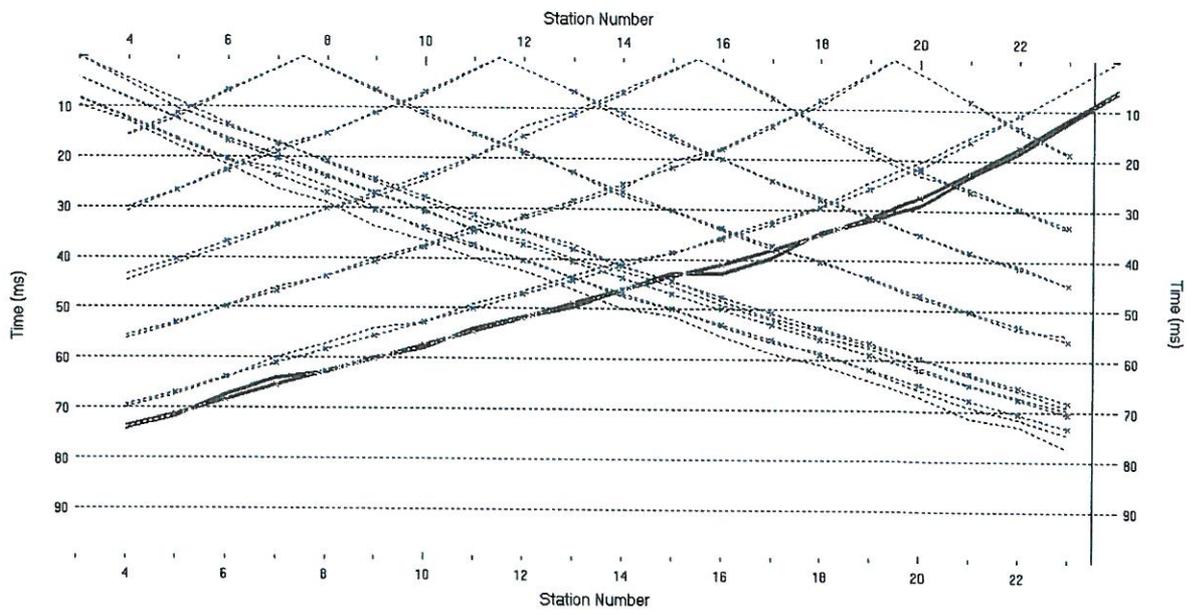
Modello di velocità

S'individua un orizzonte sismico superficiale, che si chiude nella parte iniziale del modello, dove le velocità delle onde longitudinali (V_p) si mantengono sotto i 500 m/sec, e possono essere associate alle alluvioni eterometriche, frammiste localmente ai depositi di copertura. Sotto quest'orizzonte sismostratigrafico superficiale e lateralmente, nella parte iniziale del modello, si riscontrano velocità delle onde P comprese tra 500 m/sec e 650 m/sec, riferibili alle alluvioni eterometriche mediamente addensate, frammiste nella parte iniziale del modello a terreno di riporto parzialmente compattato (rampa di accesso al lotto di terreno sotto strada). Nella parte inferiore del modello si riscontra un ulteriore aumento di velocità delle onde di compressione, che sembra indicare un aumento relativo del grado di addensamento all'interno della compagine sedimentaria alluvionale.

San Salvatore_Reggio C, 20 WET iterations, RMS error 1.0 %, DeltatV initial model, Version 3.34

PERCORSO DEI RAGGI SISMICI





Dromocrone

INTERPRETAZIONE MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)

La prospezione sismica è stata realizzata a 20 canali d'acquisizione, adottando una distanza intergeofonica di 2 metri. È stata eseguita un'elaborazione su un sismogramma ottenuto da un punto di energizzazione posto a 4 metri dal primo geofono. La tecnica si basa sullo studio della dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di tipo Rayleigh (R), nota in letteratura come Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). Il sismogramma è stato oggetto di *filtraggio* per l'eliminazione delle alte frequenze e "depurato" dalle onde di volume, al fine di ottenere dei picchi d'ampiezza nelle oscillazioni relative alle onde di superficie.

Successivamente si è passati alla rappresentazione delle tracce sismiche su un diagramma che mette in relazione le frequenze con le velocità di fase. Su di esso s'individuano, come zone di massima ampiezza, gli allineamenti attribuibili alle onde di Rayleigh, da cui si ottiene la variazione delle velocità di queste ultime con il variare della loro frequenza, o lunghezza d'onda. Essendo la profondità di propagazione di questo tipo di onde dipendente dalla frequenza, sarà possibile correlare le velocità alle varie frequenze con le profondità. Quest'ultimo passo, successivo alla definizione della curva di dispersione, si ottiene mediante un processo d'inversione, che porta al risultato finale, costituito da un profilo verticale delle velocità delle onde trasversali (V_s), posto al centro della stesa di geofoni.

Le velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r), in un mezzo omogeneo, sono legate a quelle di volume dalla seguente relazione:

$$V_r^6 - 8V_s^2 V_r^4 + (24 - 16 V_s^2 / V_p^2) V_s^4 V_r^2 + (16 V_s^6 / V_p^6 - 1) V_s^6 = 0$$

In un mezzo non omogeneo le velocità delle onde di volume (V_p e V_s) variano con la profondità. Le velocità di fase delle onde di Rayleigh mostrano velocità differenti per differenti valori di frequenza e sono fortemente legate ai valori delle velocità delle onde trasversali. Ciò consente di passare da modelli frequenza/velocità di fase delle onde di Rayleigh a modelli monodimensionali V_s /profondità.

Gli elaborati forniti contengono:

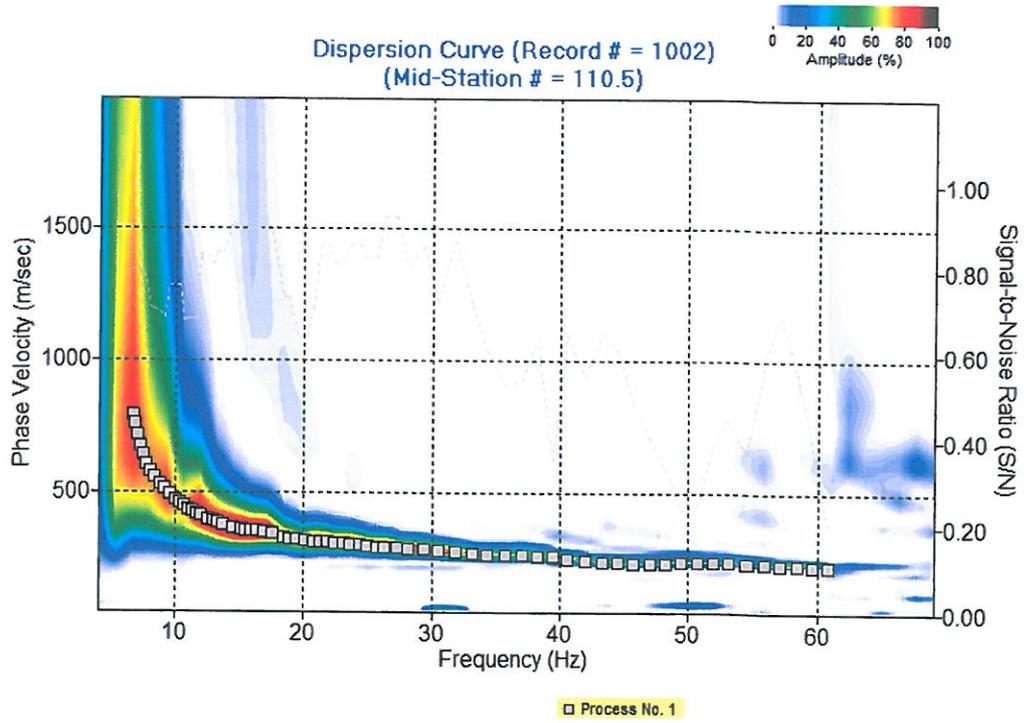
- *la curva di dispersione della velocità di fase delle onde R in relazione alla frequenza;*
- *il profilo delle Vs al centro dello stendimento fino alla massima profondità di indagine;*
- *la tabella dei valori di Vs per orizzonti omogenei di velocità;*
- *la velocità equivalente delle onde di taglio (Vs) fino a 30 metri di profondità.*

Interpretazione

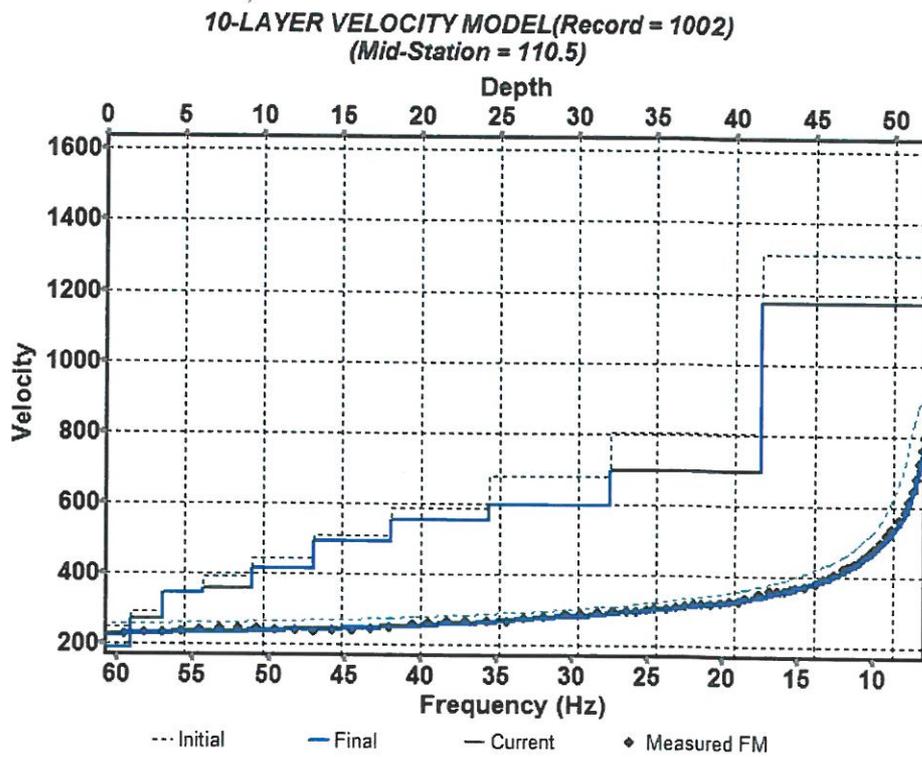
Le velocità delle onde trasversali si mantengono sotto i 360 m/sec fino ad una profondità di 9.3 metri, e possono essere associate alle alluvioni eterometriche da mediamente addensate ad addensate. Sotto i 9.3 metri e fino alla profondità di 13.2 metri, i valori di Vs si attestano sui 411 m/sec, e sembrano indicare la presenza di depositi alluvionali grossolani addensati.

A partire dai 13.2 metri e fino ad una profondità di 41.6 metri, si registrano velocità delle onde S comprese tra 491 m/sec e 693 m/sec, riferibili presumibilmente all'ammasso litoide metamorfico a vario grado di fratturazione. Da -41.6 metri di profondità si riscontrano valori di Vs pari a 1173 m/sec, che sembrano indicare una netta diminuzione del grado di fratturazione all'interno della *Formazione* litoide metamorfica.

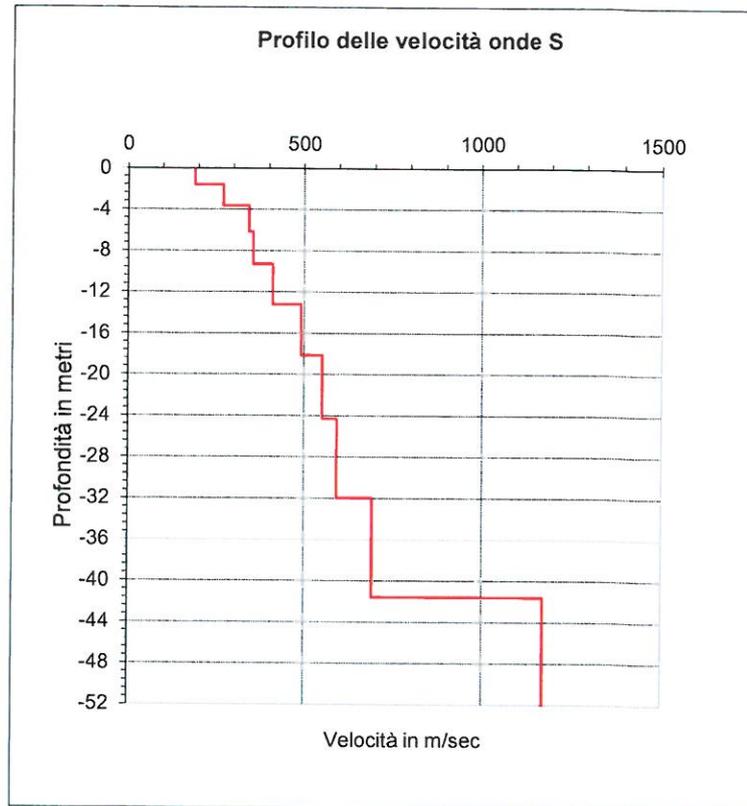
MASW



Curva di dispersione



Curve di inversione



<i>Profondità dal p.c. al centro dello stendimento (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>
-1.612	190.657
-3.627	270.260
-6.146	343.344
-9.295	355.037
-13.231	411.702
-18.151	491.803
-24.301	552.366
-31.989	593.525
-41.598	693.703
-51.998	1173.456

$V_{S30} = 414$ m/sec (velocità equivalente delle onde di taglio fino a 30 metri)

(Quota di riferimento p.c.)

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \text{ [m/s].}$$

MODULI ELASTICI DINAMICI

I moduli elastici dinamici sono stati calcolati partendo dai valori medi delle velocità delle onde longitudinali (V_p) determinate nel modello tomografico e delle onde trasversali (V_s) definite nel profilo MASW. I valori dei pesi di volume (γ) sono indicativi.

Tabella dei moduli elastici dinamici medi

	<i>Coperture e Alluvioni eterometriche</i>	<i>Alluvioni eterometriche mediamente addensate</i>	<i>Alluvioni eterometriche da mediamente addensate ad addensate</i>	<i>Alluvioni grossolane addensate</i>	<i>Metamorfiti molto fratturate</i>	<i>Metamorfiti fratturate</i>
Coefficiente di Poisson μ	0.354	0.359	0.335	0.325	0.300	0.290
Velocità onde longitudinali V_p (m/sec)	400	575	700	807	1091	2157
Velocità onde trasversali V_s (m/sec)	190	270	349	411	583	1173
Peso di volume γ (g/cm^3)	1.80	1.95	2.00	2.05	2.25	2.45
Modulo di Young E_{din} (Mpa)	179.4	393.7	662.8	935.4	2026.9	8865.7
Modulo di Rigidità G (Mpa)	66.2	144.9	248.3	353.0	779.6	3436.3

Risposta sismica

Categoria di sottosuolo: **B**;

Categoria Topografica: **T₁**;

Coordinate Geografiche (WGS84): **N 38,083640° - E O 15,735353°**.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1. Prospezione sismica a rifrazione onde P



Foto 2. Acquisizione MASW

UBICAZIONE INDAGINI IN SITO



LEGENDA

Prospezione sismica onde P

Profillo verticale delle onde S (Vs30)