CONSORZIO DI BONIFICA SUD

Bacino Moro - Sangro - Sinello e Trigno

Via S. Antonio Abate

66054 VASTO (Ch)

DIGA DI PONTE CHIAUCI SUL FIUME TRIGNO

Opere di completamento

- 1° Intervento -

PROGETTO ESECUTIVO

Lotto 9

- Sistemazione ammasso roccioso -

Allegato N°

4

RELAZIONE SISMICA

STUDIO

C.& S. Di Giuseppe Ingegneri Associati Srl

Via Cavour, 45
66010 Palombaro (Ch)
Tel. 0871/895660 fax 0871/895218
e-mail: info@c-sdigiuseppe.com
Homesite: www.c-sdigiuseppe.com

ACCREDIA

ABICert l'ente di certificazione UNI EN ISO 9001:2008 Certificato n. QBC151

ABICert l'ente di certificazione UNI EN ISO 14001:2004 Certificato n. ABC033

ABICert l'ente di certificazione BS OHSAS 18001:2007 Certificato n. SBC004

PROGETTAZIONE E DIREZIONE LAVORI

C. & S. DI GIUSEPPE
INGEGNERI ASSOCIATI S.r.l.
D.T.: Dott. Ing. Sante DI GIUSEPPE

GEOLOGO

Geol. Domenico PELLICCIOTTA
Via Quadroni, 117 - 66040 Perano (CH)

APPROVAZIONI

IL R.U.P.
Geom. Michele MAGNACCA

Il Commissario

SPAZIO RISERVATO ALL'UFFICIO

Progetto: 549

Committente: Consorzio Bonifica Sud

Numero: 549 E A 04 Revisione 01

ELABORATO DA:
data

VERIFICATO DA:
data

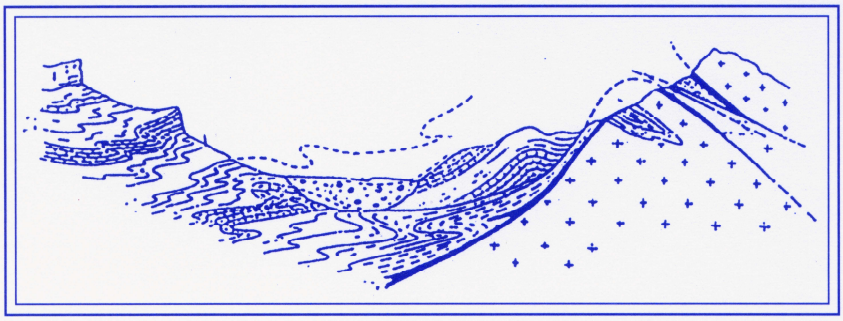
Risultato verifica 1 2 3

DATA Dicembre 2016

GEOPROGETTI
Dott. Geol. Pellicciotta Nando
Dott. Geol. Pellicciotta Domenico

- CONSULENZA GEOLOGICA
- SONDAGGI GEOGNOSTICI
- IDROGEOLOGIA
- INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO
- GEOTECNICA

Via Quadroni, 117 - 66040 **PERANO** (Chieti) - Tel. e Fax 0872 856019 - Cell. 347.9533083 - 335.6282122 - e-mail: geoprogetti@interfree.it



REGIONE *MOLISE*	*COMUNE DI* ***CHIAUCI***	PROVINCIA DI *ISERNIA*

ALL. 4	***RELAZIONE SIMSICA***
Progetto:	DIGA DI PONTE CHIAUCI SUL FIUME TRIGNO Opere di completamento *Lotto n°9 – Sistemazione ammasso roccioso.*

COMMITTENTE: *CONSORZIO DI BONIFICA SUD*

Geol. Domenico PELLICCIOTTA

INDICE

1.0 - PREMESSA....1
2.0 - STRUMENTAZIONE....1
3.0 – INDAGINE SISMICA *MASW*....2
3.1 – Risultati MASW....*3*
4.0 – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE – Onde P....3
4.1 – Risultati Rifrazione....*6*

ALLEGATI

- UBICAZIONE INDAGINI IN SITO (scala 1:5.000)
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
- REPORT STENDIMENTO MASW – MASW-1
- REPORT ISMICA A RIFRAZIONE – RIFR-1

1.0 - PREMESSA

Su incarico del Dott. Geol Domenico PELLICCIOTTA, sono state eseguite due **prospezioni sismiche di superficie**, una **con tecnica MASW** (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) al fine di definire la velocità delle onde sismiche di taglio (tipo S) e gli spessori dei sismostrati e valutare la Vs30 secondo O.P.C.M. 3274/2003, e l'altra **con tecnica a rifrazione delle onde P**, al fine di individuare le velocità delle onde P e ricercare eventuali inversioni di velocità nel terreno..

L'indagine sismica è stata eseguita nel territorio comunale di Chiauci (IS), lungo la strada sul fondovalle del Fiume Trigno in uscita dalla diga di Chiauci (vedi ubicazione in allegato), in data 27/02/2011, mediante un profilo sismico secondo lo schema di seguito riportato.

Tale studio è stato redatto conformemente alle norme dettate dall'O.P.C.M. del 20.03.2003 n° 3274 e dal D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" approvato con pubblicazione sul S.O. n. 30 della G. U. 4 febbraio 2008 n. 29.

2.0 - STRUMENTAZIONE

L'acquisizione dei dati di campagna è stata effettuata mediante la seguente strumentazione:

Tabella 1

Sistema di Acquisiszione		
Nome	Caratteristiche	Metodologia di azione
Energizzatore	massa battente di 5 e 15 kg su piastra in duralluminio	generazione segnale
Geofoni verticali GEOSPACE	4,5 Hz – 4 kOhm	conversione segnale sismico in elettrico
Sismografo SARA – Do.Re.Mi.	digitalizzatori – 16 bit	conversione del segnale elettrico in digitale e registrazione
Interfaccia Do.Re.Mi. master		alimentazione, collegamento PC, erogazione del segnale start
Computer	Acer Aspire One	visualizzazione, memorizzazione, elaborazione dati

La strumentazione è composta da una serie di geofoni ad oscillazione verticale collegati ai canali di registrazione. Questi ultimi ricevono il segnale analogico generato dall'arrivo del treno di onde sismiche, prodotte dal sistema di energizzazione, e lo convertono istantaneamente in formato digitale. Il dato acquisito viene quindi registrato nell'unità di memoria interna al canale stesso rendendosi disponibile per il successivo download mediante interfaccia master, da parte del programma di acquisizione istallato su computer portatile.

L'interfaccia master, oltre a permettere l'acquisizione dei dati, fornisce l'alimentazione elettrica necessaria allo strumento, registra con precisione il segnale start proveniente dalla fonte di energizzazione e consente una corretta comunicazione tra il computer e i canali di acquisizione.

3.0 – INDAGINE SISMICA *MASW*

La tecnica MASW è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della modalità di propagazione delle onde di superficie nel sottosuolo, permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio Sv lungo un profilo verticale posizionato al centro dello stendimento. La media ponderata delle velocità calcolate per i singoli orizzonti sismici consente di determinare il parametro Vs30 ovvero la velocità media di propagazione delle onde Sv nei primi 30 metri di profondità del terreno.

L'indagine geofisica con tecnica MASW viene realizzata mediante uno stendimento sismico costituito da 12 a 48 (o più) geofoni allineati e separati tra loro da una distanza intergeofonica costante.

I geofoni registrano l'arrivo delle onde sismiche generate in corrispondenza di un punto di energizzazione posizionato esternamente allo stendimento (*offset*) ad una distanza compresa fra 4 e 10 ml dal primo geofono ed in allineamento con i geofoni stessi.

Ogni singolo geofono trasmette il segnale sismico rilevato tramite un cavo schermato alla stazione di ricezione, nella quale avviene la registrazione del treno d'onda su cui procedere per le successive elaborazioni ed interpretazioni.

La distanza intergeofonica viene valutata in funzione dello spessore minimo rilevabile dello strato sismo genetico a velocità Vs costante.

La profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e la sua frequenza. Tali caratteristiche quindi non dipendono direttamente dalla geometria dello stendimento, ma dalle caratteristiche della successione litostratigrafica del terreno attraversato.

L'obiettivo della registrazione è l'individuazione del treno di onde superficiali (onde di Rayleigh). Il treno d'onda, attraversando il mezzo, subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate con la velocità di propagazione delle onde di taglio Sv.

Le caratteristiche di un'acquisizione con la tecnica MASW prevedono una o più energizzazioni con tempi di acquisizione compresi tra 1 e 4 sec e con frequenza di campionamento variabile da 3000 a 5000 Hz.

Dal sismogramma, note le caratteristiche geometriche dell'acquisizione, si ricava il diagramma "**velocità di fase - frequenza**" sul quale l'operatore individua la curva di dispersione.

La curva di dispersione viene sottoposta ad un processo di inversione basato su complessi algoritmi genetici che lavorano in un campo assegnato dall'operatore di ΔV (*range* di variazione della velocità) e ΔP (*range* di variazione dello spessore di terreno supposto a velocità "costante").

Il processo di inversione porta all'elaborazione di un modello del sottosuolo espresso nel grafico "**Profondità-Velocità delle onde Sv**" con il relativo calcolo della Vs30.

L'attendibilità e l'affidabilità del modello matematico viene espressa in termini di deviazione standard del valore di velocità delle onde Sv e del rispettivo spessore assegnato a ciascun strato, ed in termini di "*misfit*" indice di qualità del processo di elaborazione matematica.

3.1 – Risultati MASW

Lo schema utilizzato per l'indagine MASW eseguita in questa sede risultano essere le seguenti:

Tabella 2

Schema di Acquisizione	
Stendimento	MASW-1
N° Geofoni	24
Distanza intergeofonca	2,5 metr1
N° punti di scoppio	1
Offsett scoppi	5 metri
Tempi di acquisizione	1 secondo
Intervallo di campionamento	5000 Hz

L'elaborazione dei sismogrammi acquisiti è stata effettuata mediante software WinMASW 4.3 (Software per le determinazione dello spettro di velocità e l'inversione della curva di dispersione secondo il metodo MASW).

Il parametro Vs30 è stato verificato su uno schema stratigrafico fornito dalla committenza.

Il modello conseguito dall'elaborazione dei sismogrammi individua per il profilo MASW-1 un valore di $\mathbf{V_{s30}}$ [$V_{S30}= 30/\Sigma_{i=1,N}\,(h_i / N_i)$] **pari a 905 m/sec**.

4.0 – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE – Onde P

Al fine di determinare le variazioni della velocità delle onde di volume "P" nel sottosuolo, è stato effettuato un profilo sismico con metodologia a rifrazione ubicato come in allegato.

Le prospezioni sismiche a rifrazione sono considerate le metodologie di indagine indiretta più efficaci per la ricostruzione della stratigrafia di un'area e per la caratterizzazione fisico-meccanica dei materiali presenti nel sottosuolo.

Il metodo consiste nel generare artificialmente onde elastiche longitudinali in un punto della superficie (*Shot*) e nel misurare il tempo impiegato dalle onde così prodotte per propagarsi dalla sorgente a dei sensori (*Geofoni*), opportunamente disposti sul terreno a distanze crescenti.

Il fondamento teorico di tale applicazione risiede nel fatto che le velocità e le direzioni di propagazione dei raggi sismici generati sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei diversi materiali attraversati e dalla presenza di eventuali superfici di discontinuità separanti formazioni a diverso comportamento dal punto di vista elasto-meccanico.

Di seguito viene riportata una tabella con alcuni valori di velocità delle onde di compressione e di taglio secondo le diverse litologie:

Tabella 3

Valori di Vp e Vs per le diverse tipologie di terreno

Grado di consolidamento	Tipi	Vp (m/s)		Vs (m/s)	
		min	max	min	max
Sedimenti non consolidati	Sabbia	400	900	176	396
	Sabbia Satura	700	1450	286	592
	Argilla	750	1600	280	500
	Limi ed argille	650	1250	241	464
	Limi e sabbie	500	1000	212	425
Sedimenti consolidati	Argilla	1500	1850	557	687
	Calcare fratturato	750	1450	330	638
	Calcare	1400	2000	616	880
	Arenaria fratturata	800	2100	363	954
	Arenaria	2000	3500	935	1637
	Dolomia	2500	4500	1200	2162
Rocce	Basalto fratturato	950	1350	489	695
	Basalto	1800	3000	995	165
	Granodioriti fratturati	1000	1750	514	900
	Granodioriti	1600	2800	884	1548
	Metamorfiti fratturate	1500	2000	772	1029
	Metamorfiti	1800	3500	1039	2021

La tabella mostra che il campo di variazione per uno stesso litotipo è ampio; infatti la velocità dipende dai parametri elastici intrinseci di ciascun litotipo che possono essere influenzati da numerosi fattori quali, ad esempio: la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il contenuto dei fluidi, ecc.

Per interpretare i dati ottenuti dalla sismica a rifrazione bisogna costruire dei grafici tempi di arrivo (tempo) – distanza dal punto di energizzazione (spazio), per ogni singolo geofono, in modo da ricostruire l'andamento in profondità delle linee isocinetiche (curve che uniscono punti ad uguale velocità) che possono essere correlate con la stratigrafia (litologica).

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo dipende da numerosi fattori:ad esempio per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta con la profondità e l'età geologica. Inoltre sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi.

La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione. Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali, portando ad una erronea interpretazione sismostratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto, inoltre, ad altre limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde sismiche in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma si riduce la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati;
- in presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;

Incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di indagini dirette di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

D'altro canto i moderni metodi di elaborazione del dato sismico consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione

sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

4.1 – Risultati Rifrazione

Il processing dei dati, qui eseguito con il programma INTERSISM prosegue con la fase di inversione che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (*wavepath*) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Successivamente, con la fase di *imaging*, si otterrà l'immagine della sezione sismostratigrafica.

L'indagine sismica a rifrazione è stata eseguita secondo lo schema seguente:

Tabella 4

Schema di Acquisizione	
Stendimento	RIFR-1
N° Geofoni	12
Distanza intergeofonca	5 metri
N° punti di scoppio	7
Spaziatura scoppi	da 3,5 a 16,5 metri
Tempi di acquisizione	500 ms
Intervallo di campionamento	5000 Hz

Per l'esecuzione dello stendimento, sono stati realizzati uno scoppio per parte all'inizio (A) e alla fine (B) dello stendimento sismico alla distanza di 4 metri dal geofono più vicino; uno scoppio esterno a 7,5 m dal primo (E1) e a 7,5 m dall'ultimo (E2) geofono; uno al centro (C), a metà dello stendimento; altri due scoppi tra il 3° e il 4° (D1) e tra il 9° e il 10° (D2) geofono.

Di seguito sono descritti sinteticamente i risultati dello stendimento eseguito; per un dettagliato esame delle stesse si rimanda alle schede in allegato.

Stendimento RIFR-1

- **(sismostrato 1)**: orizzonte superficiale, di spessore variabile da 1,8 m circa fino a 5,1 m e velocità media delle onde sismiche di compressione (Vp) di circa 817 m/s. Tale orizzonte è caratterizzato da proprietà elasto-meccaniche medio; considerate le velocità sismiche e gli spessori, è correlabile con un livello granulare di copertura detritica superficiale;

- **(sismostrato 2)**: livello, a competenza molto variabile, di spessore compreso tra 7,7 e 19,7 metri, caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali (Vp) di circa 2307 m/s, riconducibili ad un orizzonte costituito, dato il contesto geologico, da materiale roccioso, litoide ma decisamente piuttosto fratturato;

- **(sismostrato 4)**: orizzonte di spessore non quantificabile e con velocità delle onde sismiche longitudinali (Vp) di circa 7637 m/s, riconducibile, dato il contesto geologico-stratigrafico, al basamento litologico.

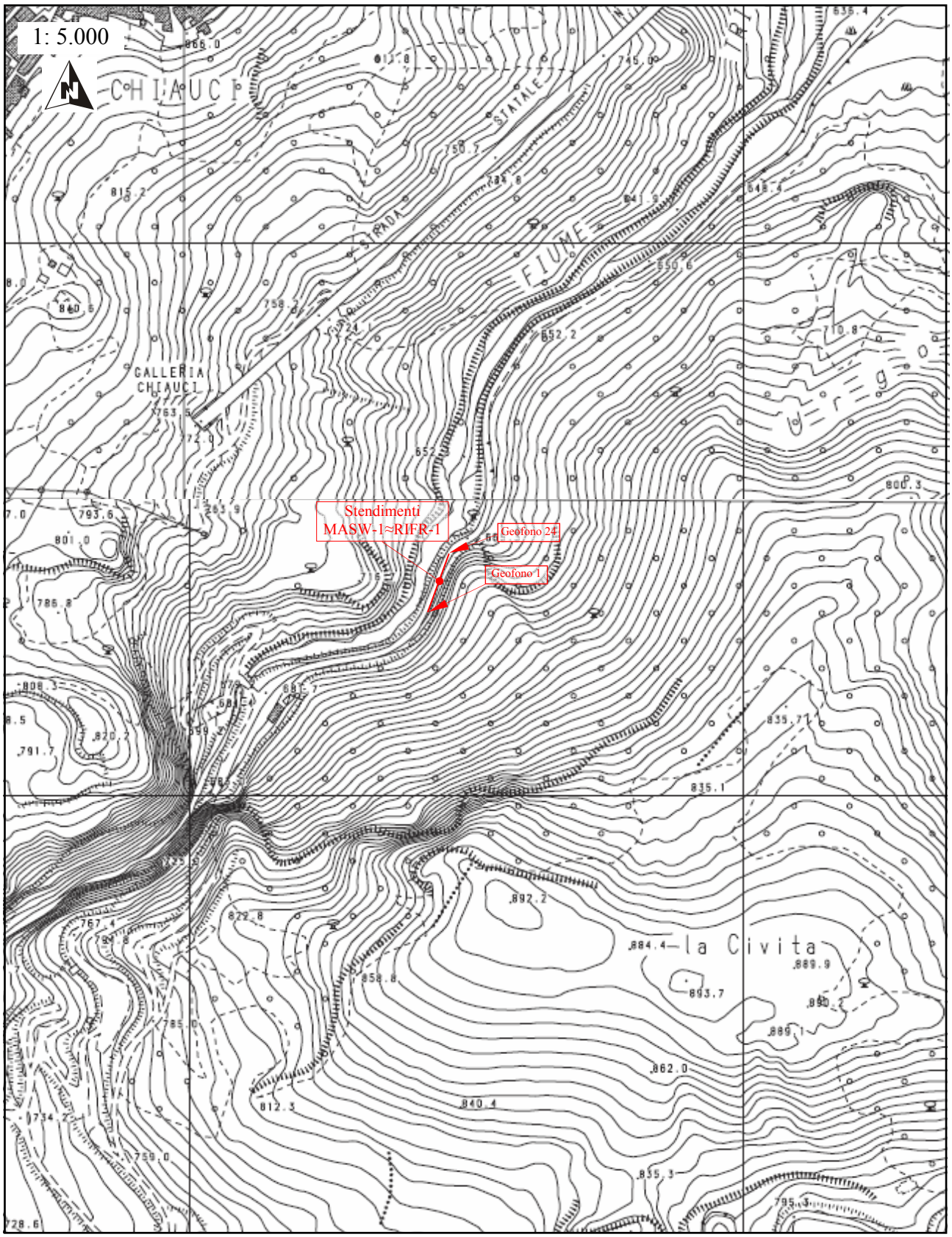
Gli improvvisi e decisamente elevati incrementi di velocità delle onde longitudinali registrati al passaggio tra gli strati, risentono probabilmente della presenza della falda, che incrementa decisamente la velocità della onde P. Questo è confermato dall'analisi del contesto generale, come la presenza del Fiume Trigno a pochi metri dal sito, che mi rende compatibile la presenza in questi terreni di una falda a circa 7 – 8 metri di profondità dall'attuale p.c..

ALLEGATI

- UBICAZIONE INDAGINI IN SITO (scala 1:5.000)
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
- REPORT STENDIMENTO MASW – MASW-1
- REPORT ISMICA A RIFRAZIONE – RIFR-1

UBICAZIONE INDAGINI IN SITO

Stralcio della CARTA TECNICA REGIONALE – Elemento n° 393091 - 393092



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

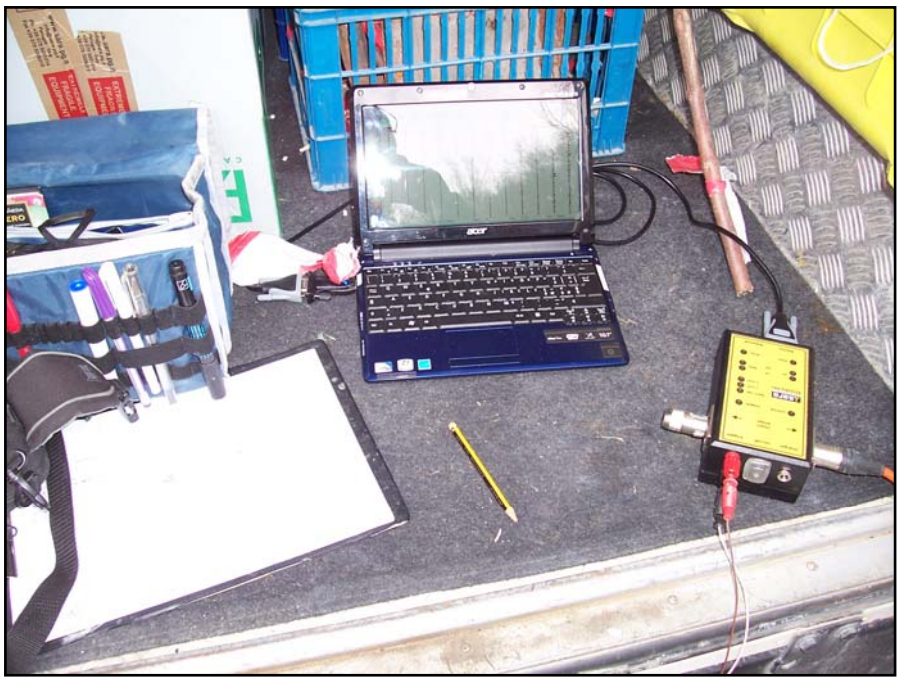


Foto 1 – Sistema di acquisizione dati

Foto 2 e 3 – Sistema di energizzazione

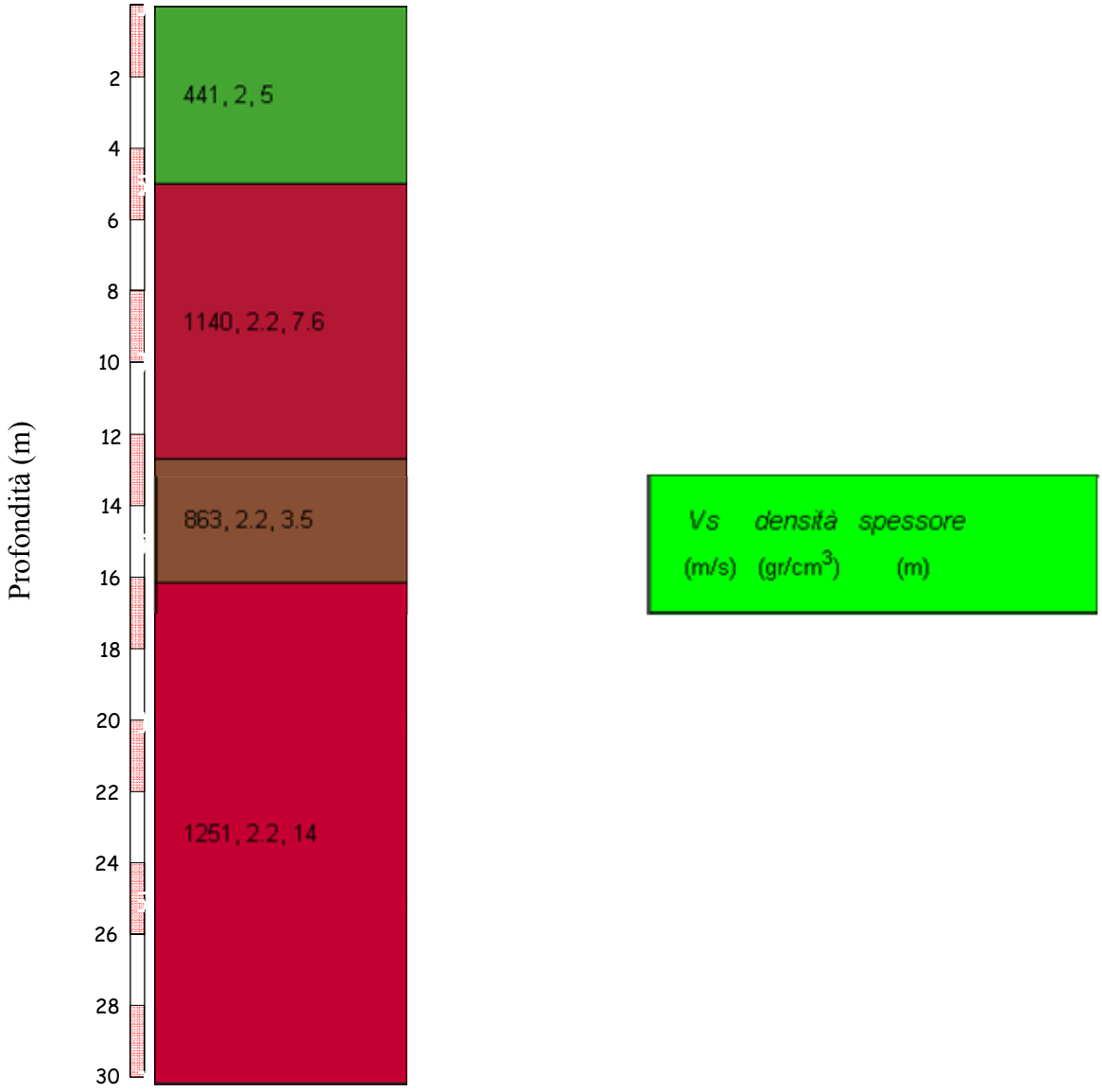
Foto 4 – Geofono + Sismografo

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

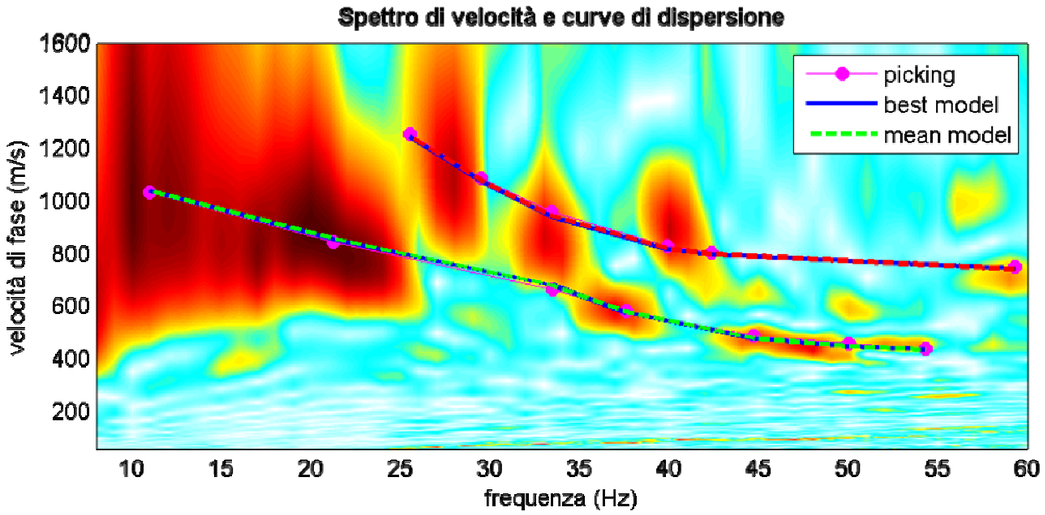
Foto 5, 6, 7 e 8 – Stendimento sismico MASW-1 ≈ RIFR-1

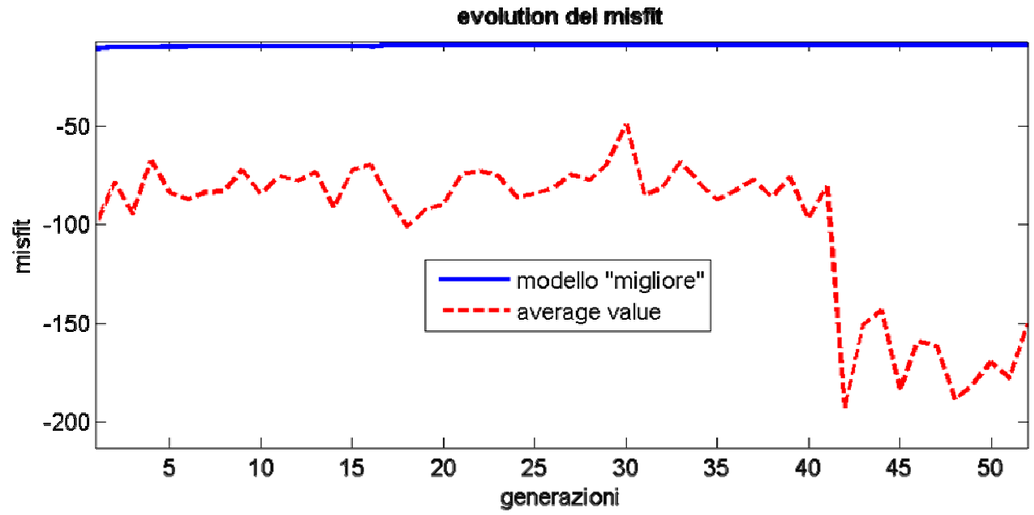
REPORT STENDIMENTO MASW – MASW-1

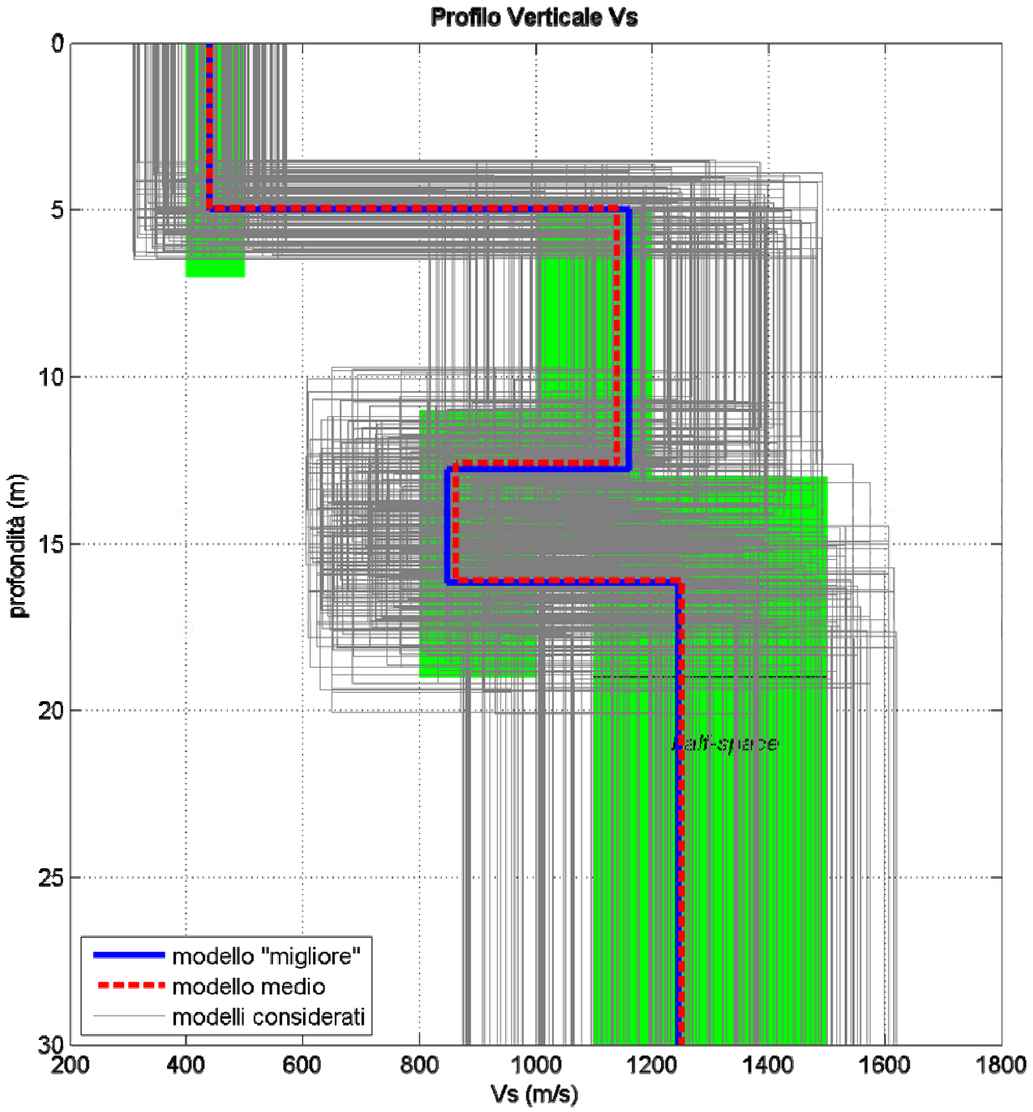
MODELLO SISMICO DEL TERRENO



RISULTATI MASW







dataset: sismigrammi attaccati.sgy

curve di dispersione: pick.cdp

VS30 (modello "migliore"): 905 m/s

VS30 (modello medio): 906 m/s

REPORT SISMICA A RIFRAZIONE – RIFR-1

All 1

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
0.00	0.00	Rifr_1.dat
3.50	-0.27	Rifr_2.dat
20.00	-1.71	Rifr_3.dat
35.00	-3.42	Rifr_4.dat
50.00	-5.00	Rifr_5.dat
66.50	-6.87	Rifr_6.dat
70.00	-7.31	Rifr_7.dat

All 2

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da -3.5 [ms]	FBP da 20 [ms]	FBP da 35 [ms]	FBP da 50 [ms]	FBP da 66.5 [ms]	FBP da 70 [ms]
1	7.5	-0.64	11.88	7.33	14	17.6	19.3	23.75	28.32
2	12.5	-1.03	17.97	13.82	9.81	14.88	18.99	23.61	27.71
3	17.5	-1.48	18.12	16.8	4.54	14.8	18.14	23.21	26.64
4	22.5	-1.97	20.86	19.62	7.76	11.87	17.46	23.01	26.49
5	27.5	-2.51	24.51	20.81	11.77	9.60	17.12	21.59	26.34
6	32.5	-3.12	25.58	23.04	14.28	1.20	16.60	19.62	22.38
7	37.50	-3.73	27.15	34.53	14.78	3.11	12.84	18.10	21.62
8	42.5	-4.26	27.84	28	18.16	7.2	6.16	15.48	16.9
9	47.5	-4.81	31.15	28.4	21.38	15.57	1.20	13.08	14.77
10	52.5	-5.34	33.29	29.43	22.42	17.12	4.05	12.86	14.62
11	57.5	-5.87	33.74	30.47	22.73	18.29	9.24	8.07	6.39
12	62.5	-6.43	34.65	31.07	23.04	18.88	11.24	3.49	6.24

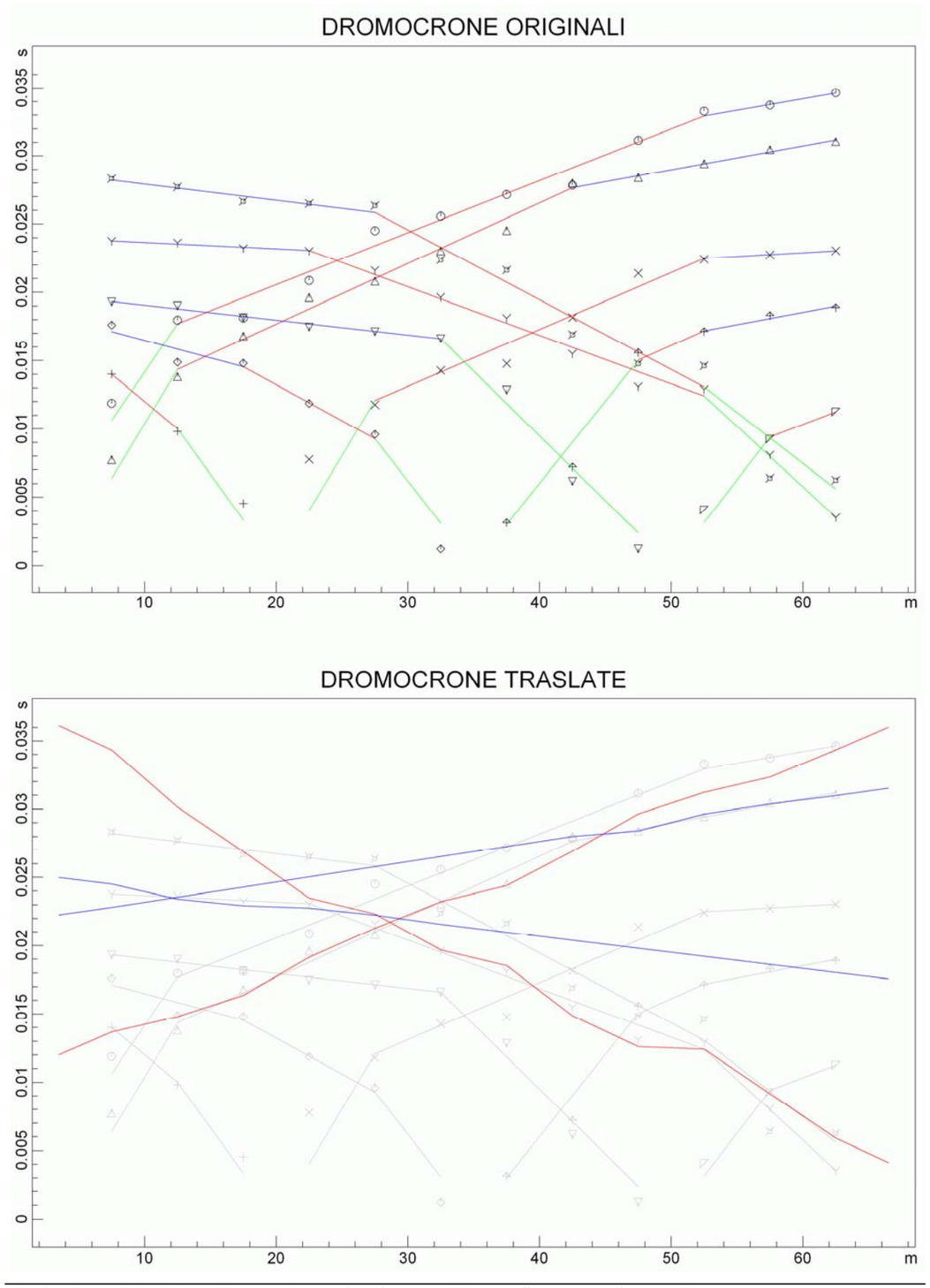
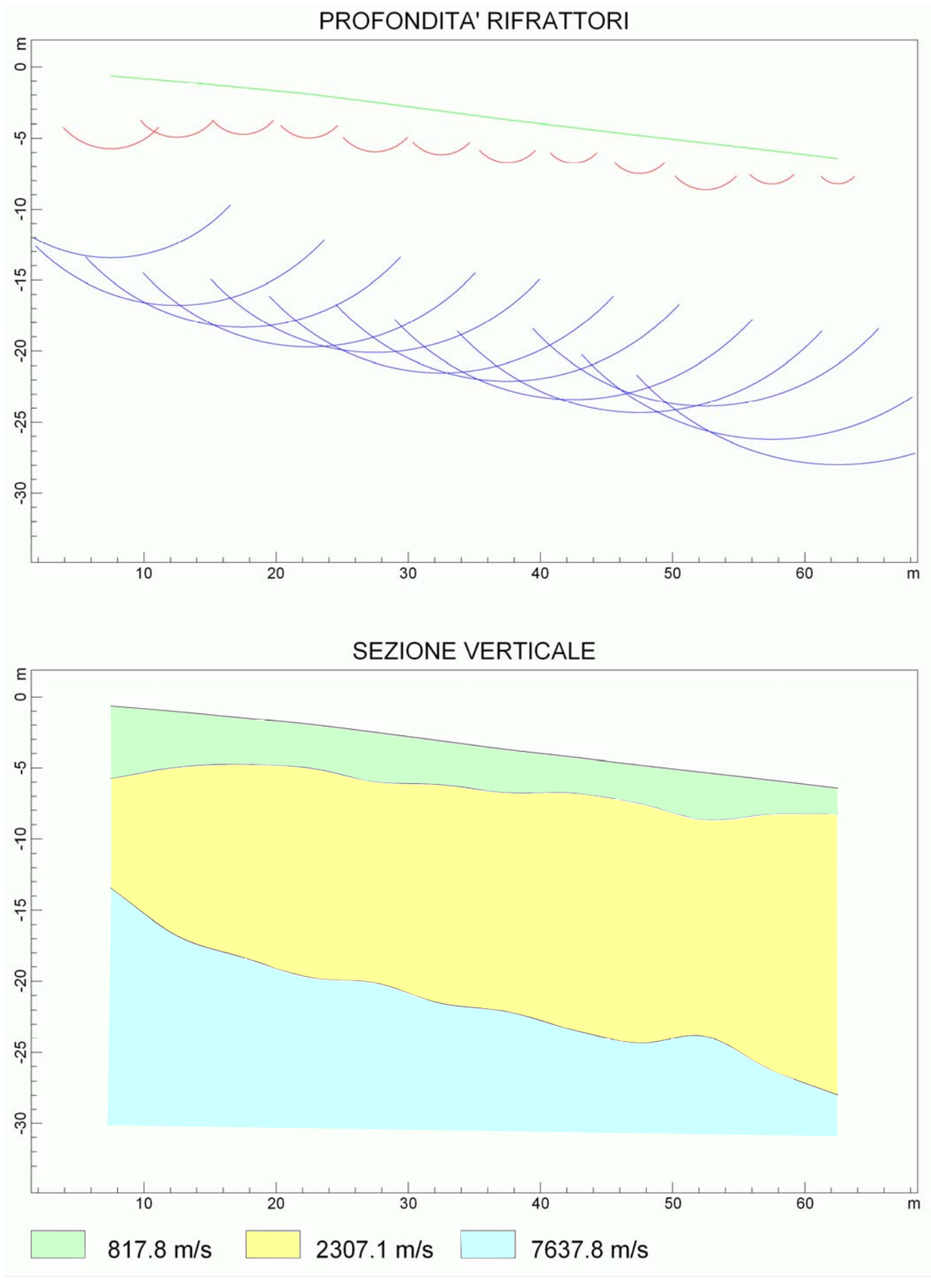
All 3

DISTANDA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 3 [m]
1	5.1	12.8
2	3.9	15.8
3	3.2	16.8
4	3.1	17.8
5	3.4	17.6
6	3.0	18.4
7	3.0	18.4
8	2.5	19.1
9	2.7	19.5
10	3.3	18.5
11	2.4	20.3
12	1.8	21.5

All 4

VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	817.8
2	2307.1
3	7637.8

ANALISI SIMICA A RIFRAZIONE – STENDIMENTO RIFR-1