

Signa srl

INDAGINI GEOFISICHE

Committente: Idrogea Servizi S.r.l.

Comune: Cantello (VA).

Indagine: Indagini geofisiche con la metodologia MASW.

RAPPORTO TECNICO

Codice documento: 23-13			Numero pagine: 19		
A	04/07/13	EMISSIONE	DG	DG	DG
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato



SIGNA srl
Via G. Donizetti, 7 – 24040 Boltiere (BG)
Tel/Fax 035-806318 – Cell. 331-8218021
Cod.Fisc. e P.IVA 05388280967
www.signasrl.it; e-mail: info@signasrl.it



SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello

INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	6
3. ELABORAZIONE DATI	12

ALLEGATO - Registrazioni MASW

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La presente relazione riporta le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di una campagna di indagini geofisiche consistita nell'esecuzione di n. 3 profili sismici con la metodologia MASW effettuati nel territorio comunale di Cantello (VA).

La campagna di indagini è stata eseguita su incarico della società *Idrogea Servizi S.r.l* nell'ambito della predisposizione dello studio geologico comunale ai sensi della nuova Legge per il Governo del Territorio.

Scopo delle indagini la ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (Vs-z) per le aree in esame al fine di consentire una stima degli effetti sismici di sito: il modello sismico monodimensionale consente di valutare l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica – D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008; D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011).

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

In figura 1 e 2 si riporta l'ubicazione delle tre linee sismiche tipo MASW effettuate (M1, M2 e M3).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
	Revisione	A (DG)
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Nome file	MASW_Cantello

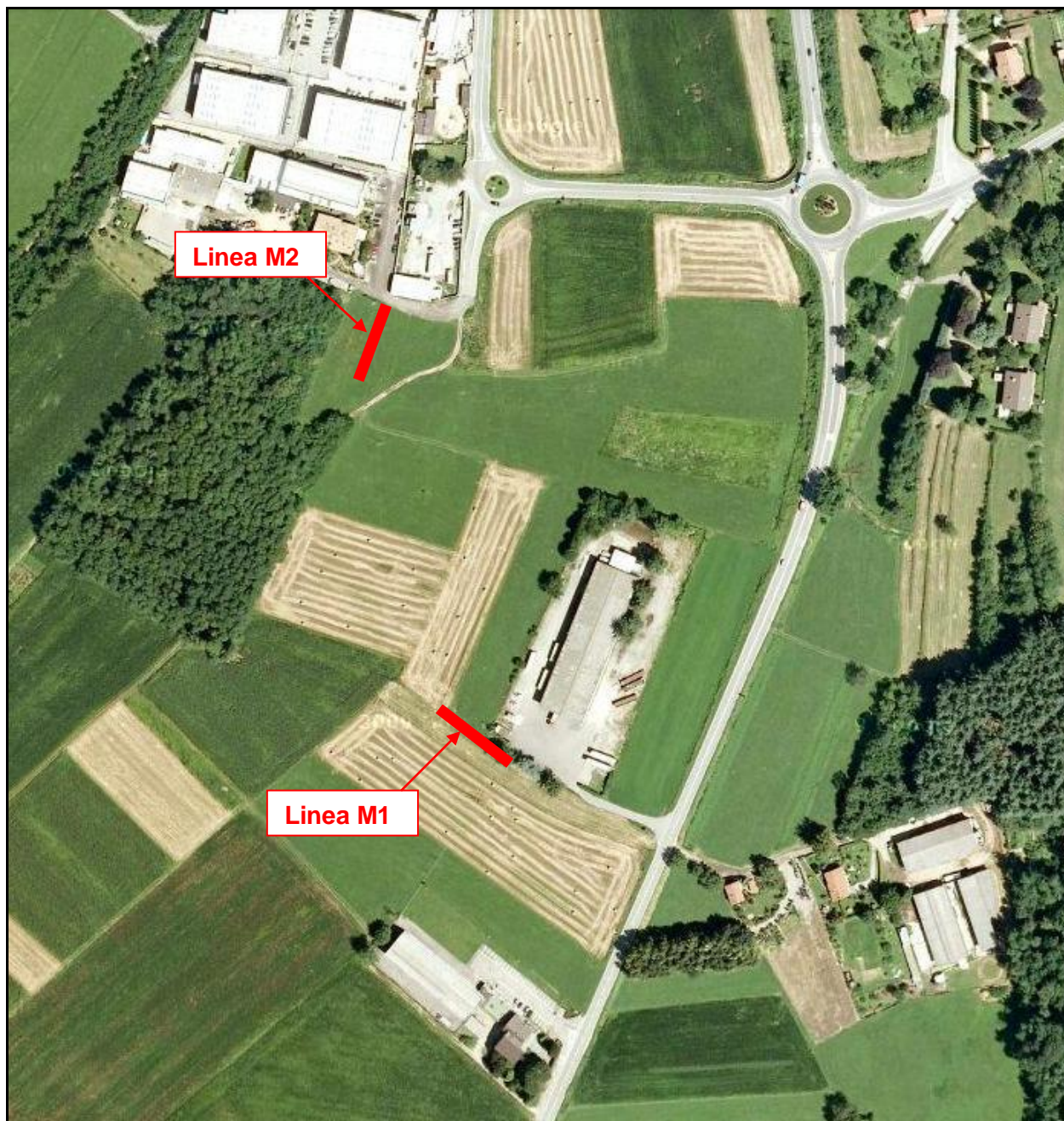


Figura 1: ubicazione delle prospezioni geofisiche M1 e M2 (immagine tratta da *Google Map*).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello



Figura 2: ubicazione della prospezione geofisica M3 (immagine tratta da *Google Map*).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello

2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del *Kansas Geological Survey* (Park C.B. et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo” (Zywicki D.J., 1999; Park C.B., Miller R.D., 2006; Roma V., 2006):

1) Nel “**metodo attivo**” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel “**metodo passivo**” lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 1.5 m (la configurazione geometrica adottata è stata dettata

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello

sia dalle condizioni logistiche che dalla necessità di ricostruire al meglio lo spettro di velocità delle onde superficiali di Rayleigh).

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*).

La sorgente è stata posta ad una distanza compresa tra 6 e 12 m dal primo geofono effettuando più energizzazioni in punti differenti (*"Optimum Field Parameters of an MASW Survey"*, Park C.B. et al., 2005; Dal Moro G., 2008; Dal Moro G., 2012).

Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtrempi (MASW passiva) acquisendo in totale 10-12 registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 30 s.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva e passiva:

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS "GEODE" a 24 bit
24	Geofoni verticali	"Geospace" con $f_0 = 4.5$ Hz
1	Cavo sismico	L = 60 m
1	Sorgente	Mazza battente su piattello metallico

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello



Figura 3: Strumentazione utilizzata per la prova MASW.

Riassunto modalità esecutive della prova MASW ATTIVA	
<i>Spaziatura tra i geofoni</i>	1.5 m
<i>Distanza sorgente 1° geofono</i>	6 - 12 m
<i>Tempo di campionamento</i>	1.0 ms
<i>Tempo di registrazione</i>	2.0 s

Riassunto modalità esecutive della prova MASW PASSIVA	
<i>Spaziatura tra i geofoni</i>	1.5 m
<i>Tempo di campionamento</i>	4.0 ms
<i>Tempo di registrazione</i>	30.0 s
<i>Numero di registrazioni</i>	10

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello

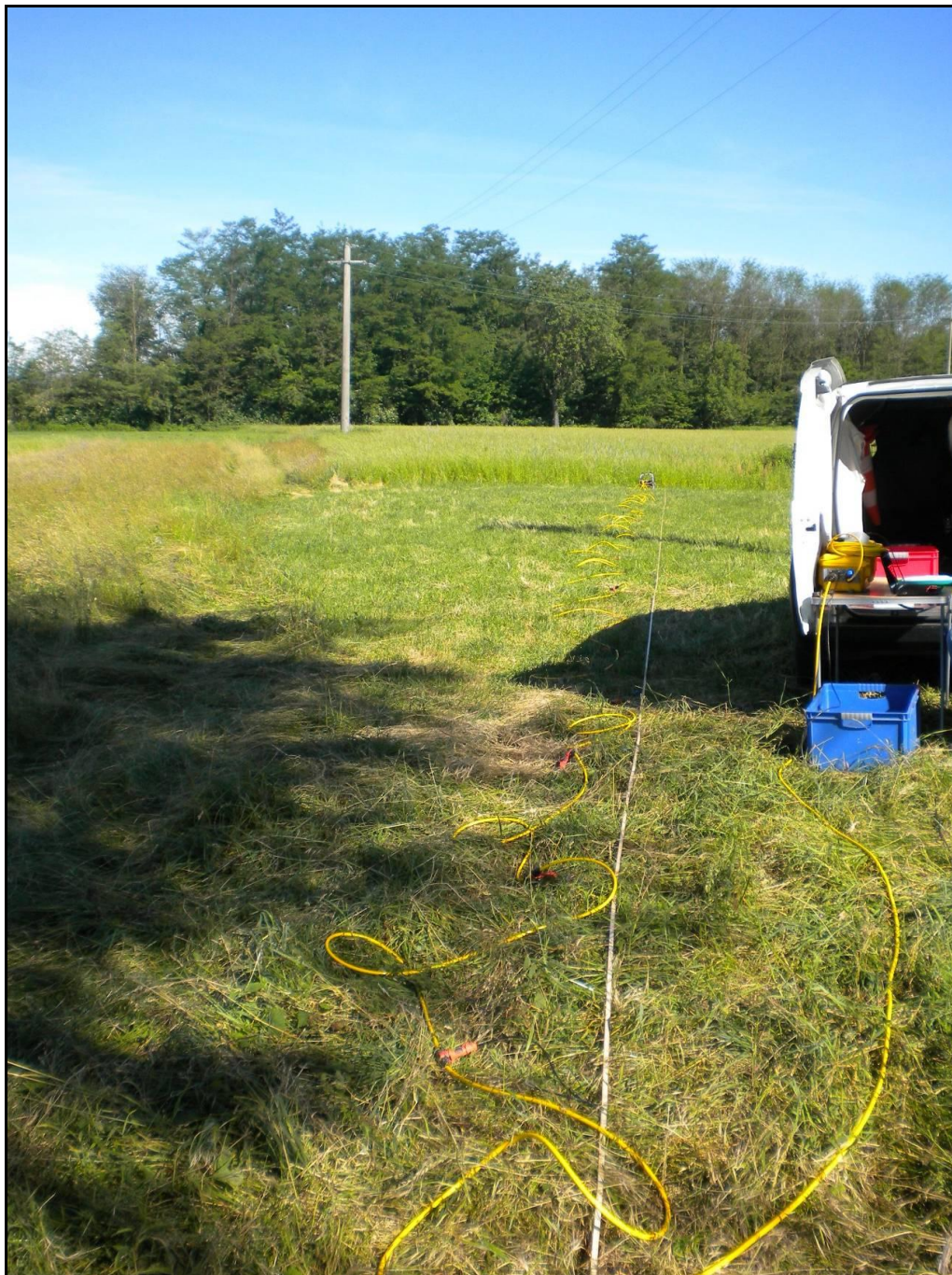


Figura 4: Vista dello stendimento M1 effettuato.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
	Revisione	A (DG)
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Nome file	MASW_Cantello

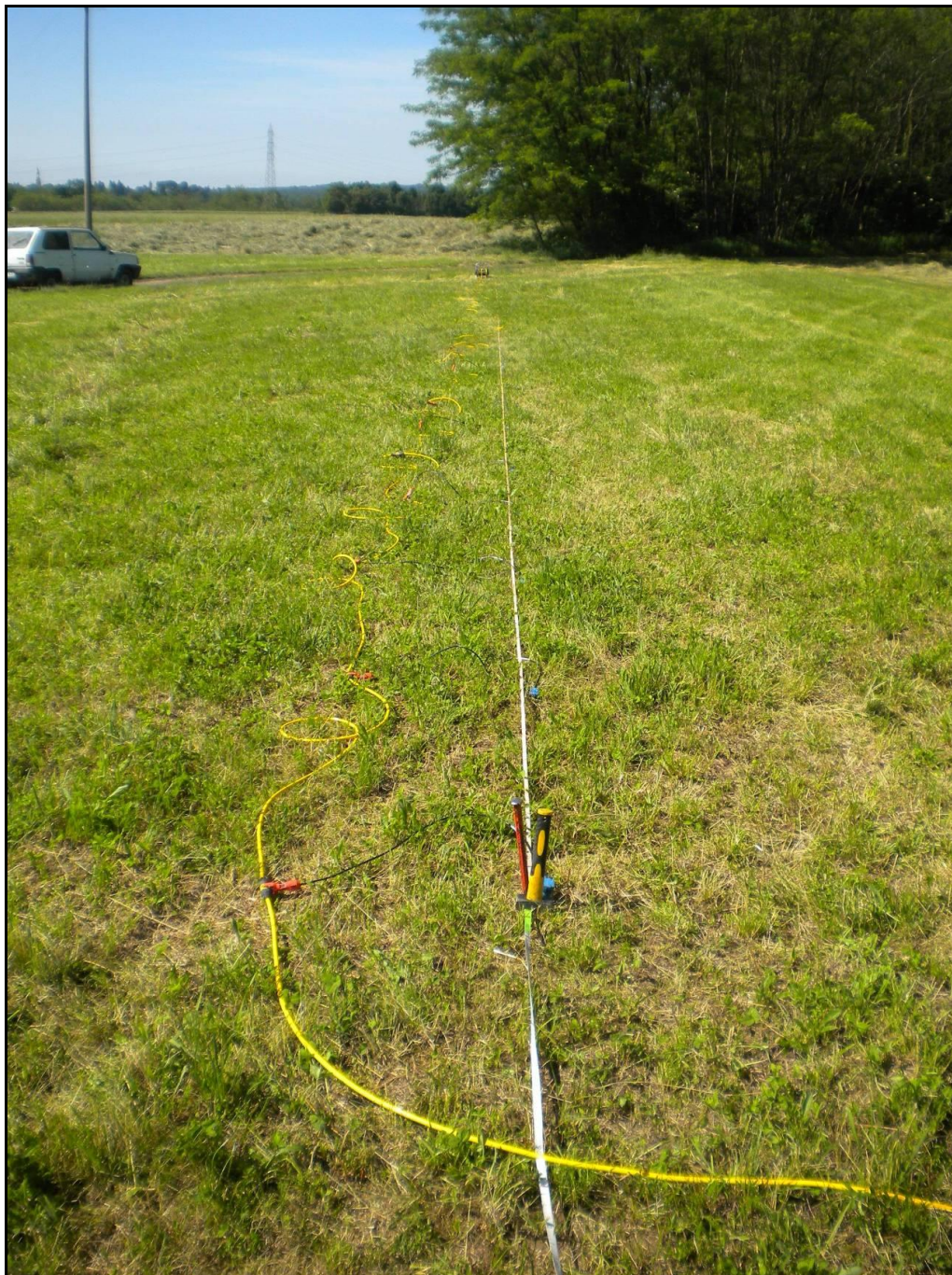


Figura 5: Vista dello stendimento M2 effettuato.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello



Figura 6: Vista dello stendimento M3 effettuato.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello

3. ELABORAZIONE DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (**SurfSeis 3.0** della Kansas University, Park C.B., 2006; 2012).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico.

In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Inoltre, la combinazione dei due metodi MASW consente di individuare il "modo fondamentale" delle onde di superficie nel campo di frequenze compreso tra i 4 e i 40 Hz e di ottenere informazioni sia "superficiali" che "profonde".

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi le curve di dispersione riportate in allegato).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità. Dall'inversione delle curve di dispersione (relative al "modo fondamentale" delle onde superficiali di Rayleigh) si ottengono i seguenti modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, ciascuno rappresentativo dell'area investigata.

MASW 1			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.73	188.14	0.73
2	0.91	163.37	1.65
3	1.14	187.59	2.79
4	1.43	177.93	4.22
5	1.79	305.81	6.00
6	2.23	342.38	8.24
7	2.79	267.50	11.03
8	3.49	427.31	14.51
9	4.36	592.71	18.87
10	5.45	656.34	24.32
11	6.81	614.23	31.14
12	8.78	814.61	39.92

Tabella 1: modello sismico monodimensionale – linea M1.

MASW 2			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.77	226.36	0.77
2	0.97	177.36	1.74
3	1.21	222.79	2.95
4	1.51	373.77	4.46
5	1.89	395.62	6.34
6	2.36	302.32	8.70
7	2.95	312.45	11.65
8	3.69	466.20	15.34
9	4.61	560.86	19.94
10	5.76	573.67	25.70
11	7.20	633.64	32.90
12	7.23	825.78	40.12

Tabella 2: modello sismico monodimensionale – linea M2.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello

MASW 3			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.70	172.77	0.70
2	0.88	154.70	1.58
3	1.10	137.37	2.67
4	1.37	225.36	4.04
5	1.71	261.22	5.76
6	2.14	397.40	7.90
7	2.68	456.70	10.57
8	3.34	590.67	13.92
9	4.18	702.42	18.10
10	5.23	758.82	23.32
11	6.53	786.41	29.85
12	10.46	924.13	40.31

Tabella 3: modello sismico monodimensionale – linea M3.

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

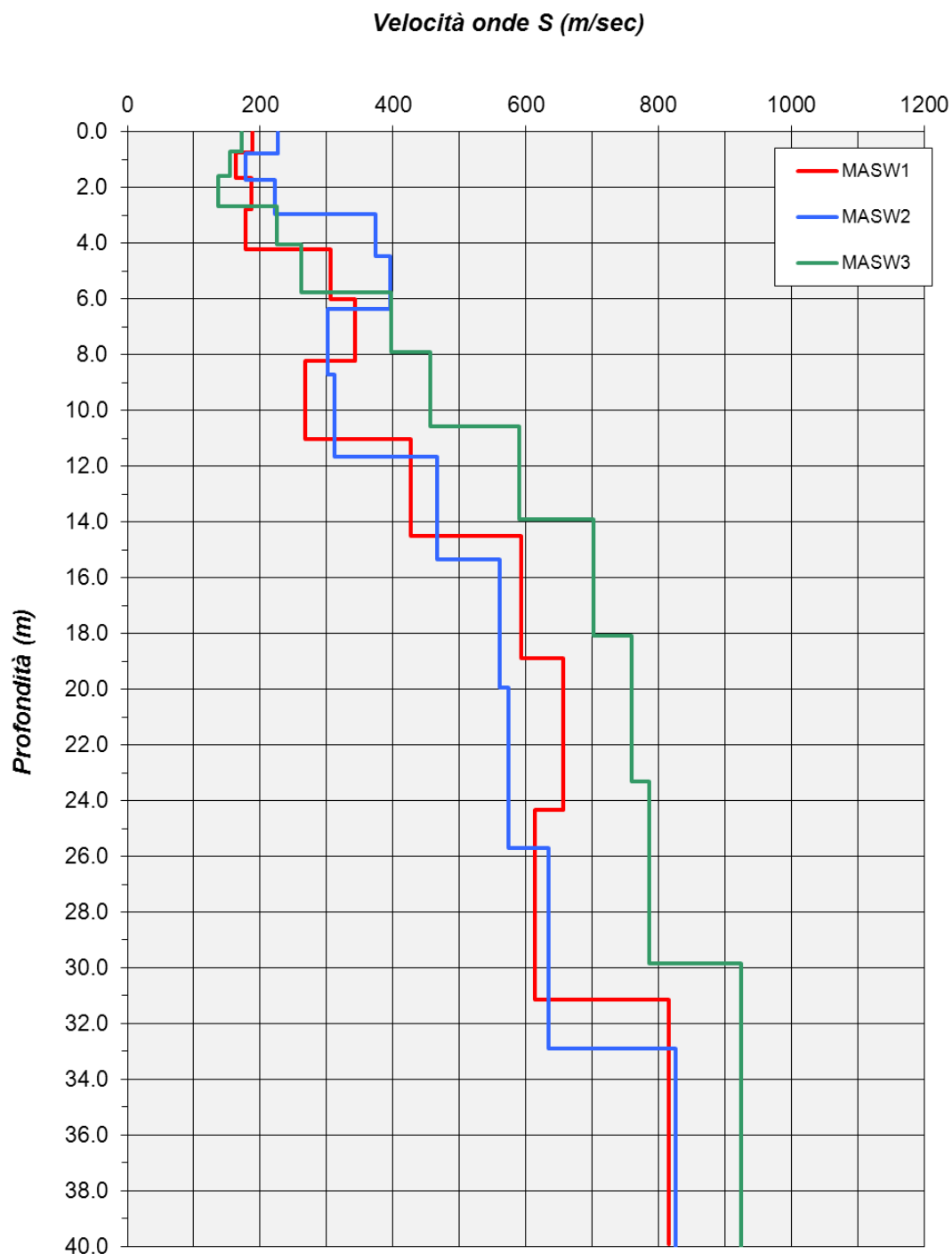


Figura 5: Andamento con la profondità della velocità delle onde S per le tre aree indagate.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/07/2013
	N. Commessa	23-12
	C. Documento	01
<i>Indagini geofisiche con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Cantello

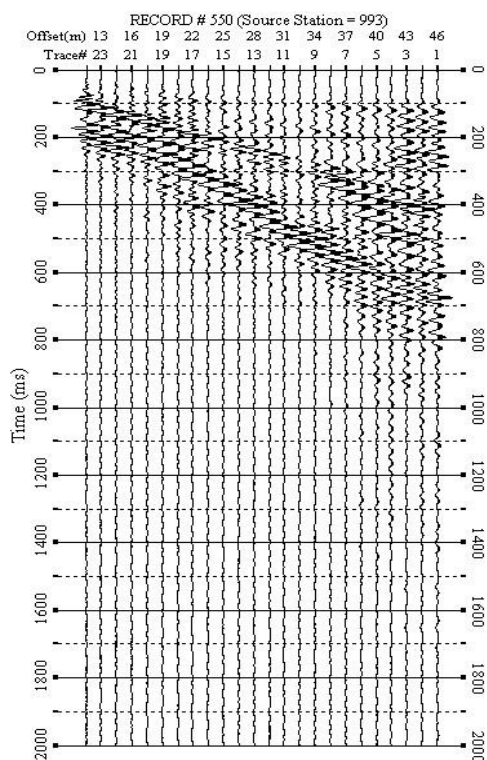
ALLEGATO

Registrazioni MASW

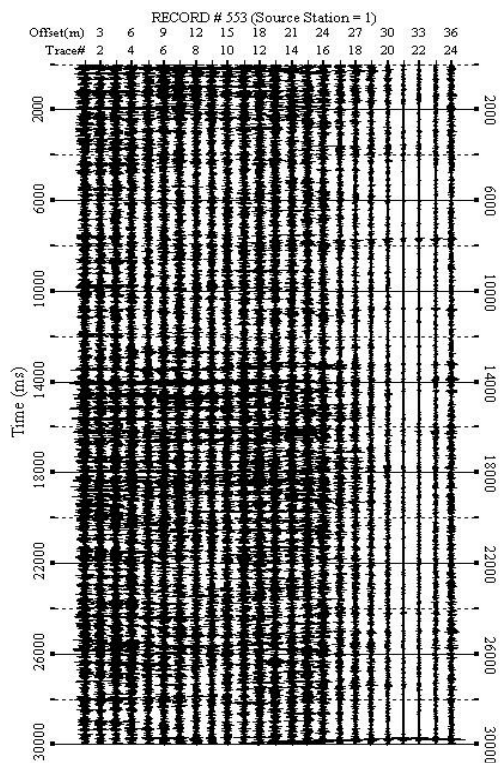
Data	04/07/2013
N. Commessa	23-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_Cantello

MASW1

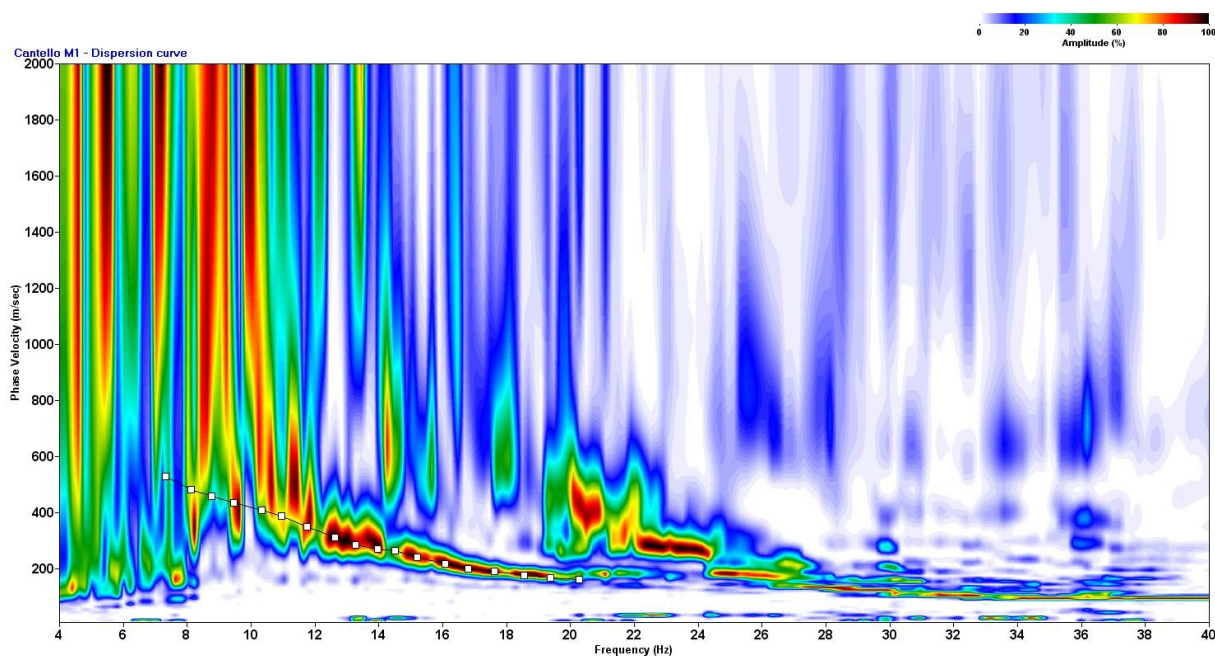
registrazione attiva



registrazione passiva



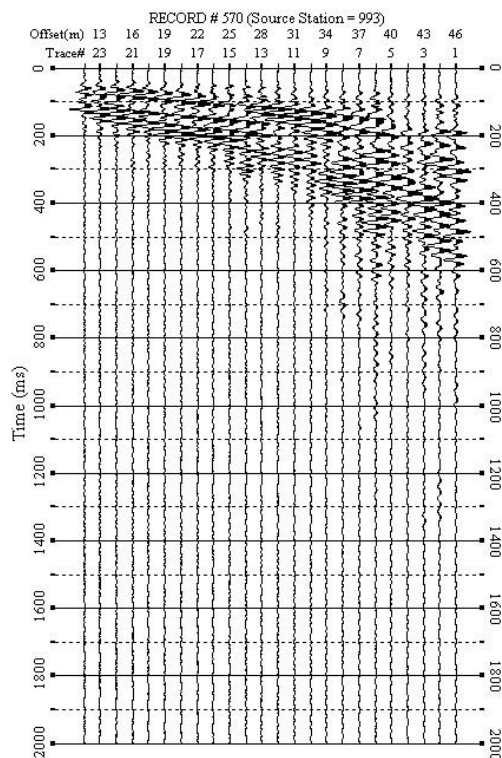
CURVA DI DISPERSIONE



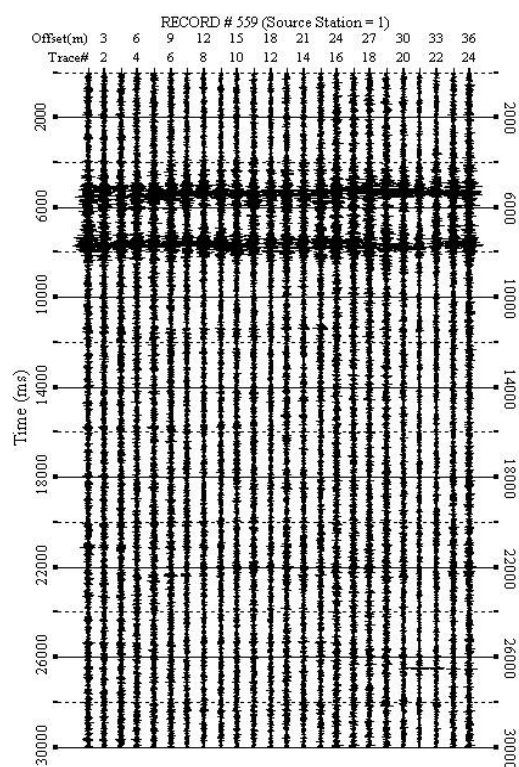
Data	04/07/2013
N. Commessa	23-12
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_Cantello

MASW2

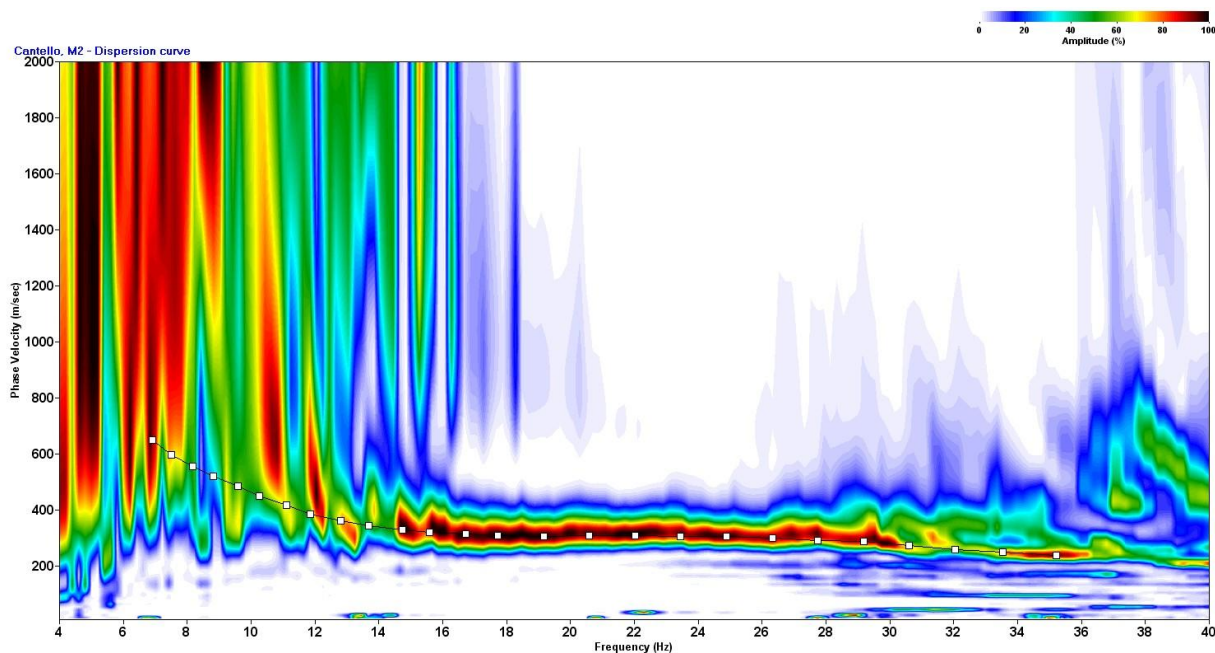
registrazione attiva



registrazione passiva

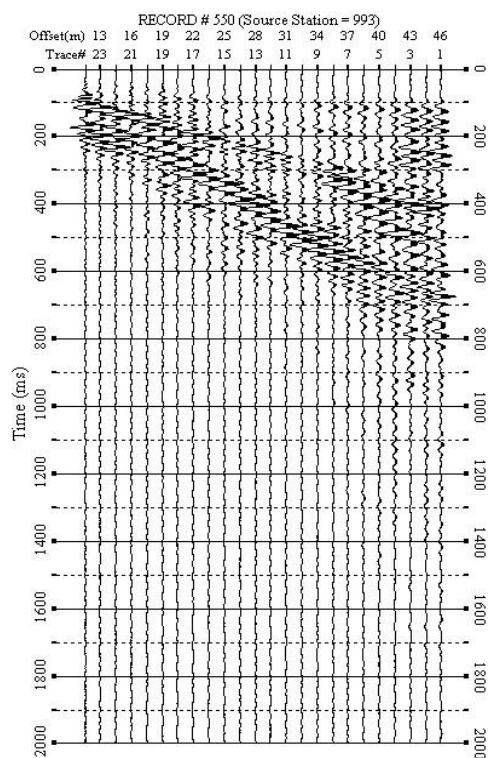


CURVA DI DISPERSIONE

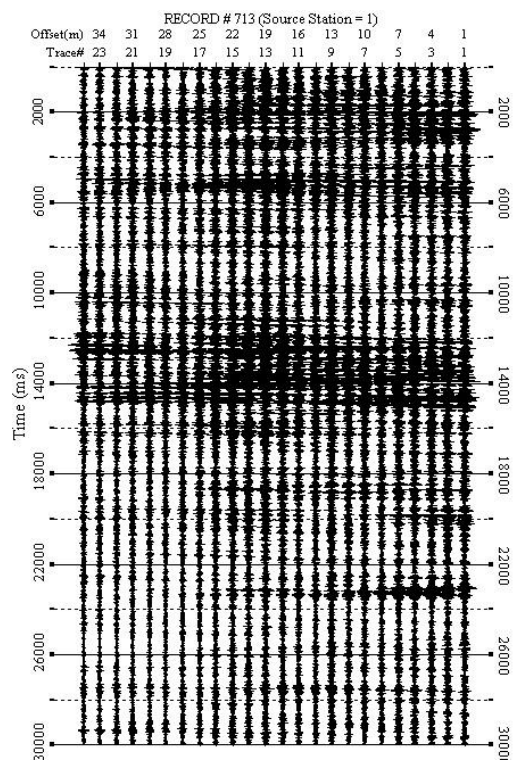


MASW3

registrazione attiva



registrazione passiva



CURVA DI DISPERSIONE

