

## INDAGINI SISMICHE

---

**INDAGINE SISMICA (M.A.S.W.)**

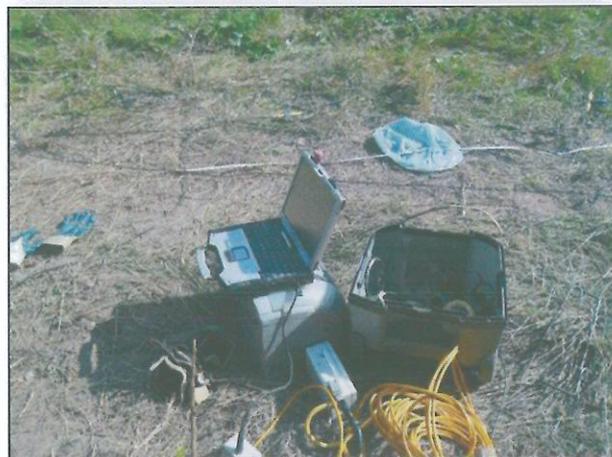
Committente: **IN.CO.SE.T. S.r.l.**

Commessa: **W313 - 12**

Progetto: **Opere infrastrutturali integrative connesse alla  
convenzione per la realizzazione dell'insediamento  
produttivo in via Ferrante Imparato n° 501 - Area ex ICMI**

Località: **Via Traversa II Macello - Napoli**

Data: **23 Ottobre 2012**



**INDAGINE SISMICA (DOWN - HOLE)**

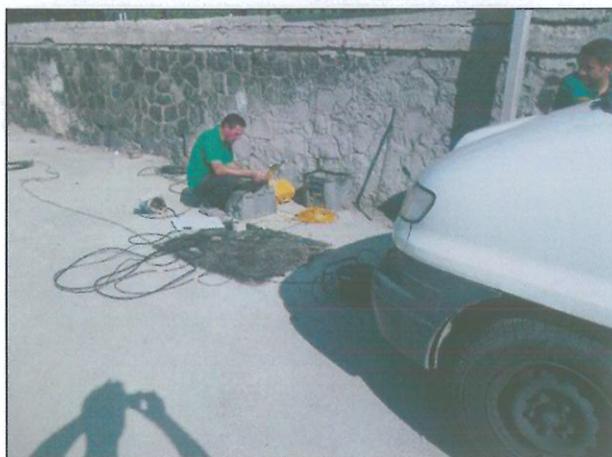
Committente: **IN.CO.SE.T. S.r.l.**

Commessa: **W313 - 12**

Progetto: **Opere infrastrutturali integrative connesse alla  
convenzione per la realizzazione dell'insediamento  
produttivo in via Ferrante Imparato n° 501 - Area ex ICMI**

Località: **Via Nicola Miraglia - Napoli**

Data: **23 Ottobre 2012**



## Descrizione delle Indagini Sismiche

- committente:	IN.CO.SE.T. S.r.l.	- data:	23/10/2012
- lavoro:	Opere infrastrutturali integrative connesse alla convenzione per la realizzazione dell'insediamento produttivo in via Ferrante Imparato, 501 – Area ex ICMI	- Commessa:	W313
- località:	Via Traversa Il Macello – Napoli	- Rif:	GM133
- note:			

### PREMESSA

Nell'area oggetto di indagine sono state effettuate una indagine con la metodologia dei microtremori, con sorgente attiva, MASW, e una con sorgente passiva, Remi (refraction microtremor), lungo la stessa linea. Queste indagini serviranno per determinare il profilo delle onde S e P fino a 30 metri dal Pc e per avere informazioni sullo stato fisico dei terreni.

Con i microtremori, dall'analisi del modo fondamentale delle onde di Rayleigh, si ottiene la curva di dispersione che sarà una funzione della velocità delle onde S e P e del peso naturale del terreno investigato. Si è utilizzato lo stesso array di 24 geofoni a 8 Hz, cambiando solo il tempo di campionamento, la lunghezza della registrazione.

Il peso di volume naturale utilizzato nell'inversione della curva di dispersione è quello ricavato dalla relazione proposta da Ludwig et al (1970) che correla le onde P al peso naturale del terreno.

Le indagini eseguite hanno le seguenti caratteristiche:

REMI						
Stend	Numero geofoni	N° registrazioni	Lunghezza (m)	Intervallo geof. (m)	Intervallo campion. msec	Lunghezza registrazione sec
micro SS1	24	10	46.0	2.0	2.0	30

MASW							
Stend	Numero sorgenti	Numero geofoni	Lunghez (m)	Intervallo geof. (m)	Intervallo campion. msec	Off1 (m)	Lungh registr msec
MASWSS1	1	24	50.0	2.0	1.0	4.0	1000

## GENERALITA' INDAGINI SISMICHE

Nella prospezione sismica si registrano le vibrazioni meccaniche prodotte o da una sorgente, di cui si conosce la posizione (metodo attivo), o naturalmente presenti nel sottosuolo (metodo passivo).

Queste vibrazioni, dette onde sismiche, si possono raggruppare in due classi principali:

- Onde di corpo, che si propagano all'interno dei materiali (onde longitudinali,  $V_p$ , e trasversali,  $V_s$ ) e
- Onde di superficie che si propagano solo vicino alle discontinuità (onde di Rayleigh e Love).

Si propagano in tutte le direzioni e passano rapidamente da un mezzo ad un altro dando origine ai fenomeni della rifrazione, della riflessione, della trasformazione, della dissipazione e della dispersione in frequenza della velocità delle onde Rayleigh.

L'osservazione di questi fenomeni mediante un sismografo collegato a dei geofoni ed una sorgente sismica (per i metodi attivi), può fornire utili informazioni sulla stratigrafia.

**La sorgente** (per i metodi attivi) è o una massa battente o una carica esplosiva

**I geofoni** sono dei sensori che ricevono l'energia sismica. Possono essere o dei velocimetri o degli accelerometri, ad un solo sensore assiale (orizzontale o verticale) oppure triassiale, che trasformano il movimento del suolo in voltaggio elettrico.

**Il sismografo** registra il voltaggio inviato dai geofoni come una sequenza temporale su uno o più canali.

### Apparecchiatura utilizzata

L'apparecchiatura utilizzata è data dai moduli sismici chiamati "Geode<sup>TM</sup>" della Geometrics collegati tramite una PMCIA ad un computer portatile. Il Geode è controllato dal computer ad esso collegato con un software chiamato Geode Operative Software (GOS). Ad un singolo **geode**, per una indagine, possono essere collegati fino a 24 "geofoni", ossia rilevatori delle vibrazioni indotte nel sottosuolo. Il geode è controllato da un software chiamato Single Geode Operative Software (SGOS).



L'apparecchiatura è dotata di incremento automatico del segnale con algoritmo di sommatoria e consente la visione in simultanea dei dati sullo schermo del computer. Si può, inoltre, manipolare il segnale con appositi di filtri, verificare il livello di rumori generati da sorgenti estranee (vento, rumori naturali, mezzi meccanici, ecc.) e scegliere l'amplificazione più idonea del segnale.

L'energizzazione è fornita da una piccola carica esplosiva o da una massa battente.

La misura del tempo di energizzazione  $T_0$ , vale a dire il momento in cui parte il treno d'onda, è ottenuto mediante un interruttore di starting posto nell'immediata prossimità del punto di energizzazione.

I ricettori sono costituiti da geofoni verticali a 8 Hz, il cui principio di funzionamento è rappresentato da una bobina ed un magnete oscillante coassiali, equipaggiati con dispositivi meccanici per la eliminazione dei moti composti.

## DESCRIZIONE INDAGINE SISMICA REFRACTION MICROTREMOR (ReMi)

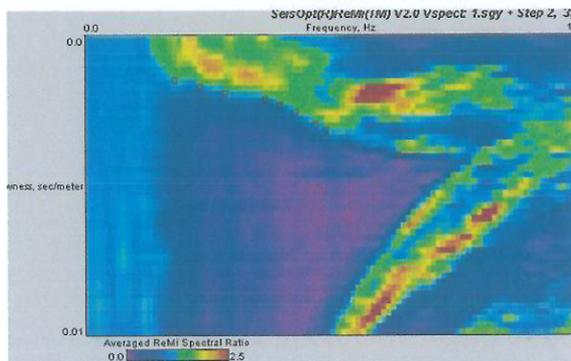
### Generalità sul metodo ReMi

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso dei microtremori prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University. Il software commerciale (ReMi®) che supporta questo tipo di elaborazione è stato prodotto dalla Optim LLC (Reno, Nevada, USA).

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. L'uso di un simografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30 Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs relativamente ai primi cento metri di profondità.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentare lo spettro di potenza su un grafico p-f.



In questa immagine risaltano gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa, ed è possibile un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh, che hanno carattere dispersivo, da quelle riconducibili ad altri modi e tipi di onde (onde di Rayleigh di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente).

**A questo punto l'operatore, in maniera arbitraria ed in base all'esperienza, esegue un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o 1/velocità di fase) per alcune frequenze. Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto 1D.**

È possibile, inoltre, creare un modello 2D analizzando le tracce di gruppi di geofoni lungo un allineamento. Per ogni gruppo si ricava un modello 1D che possono essere uniti per creare un modello 2D. Il modello 2D può permettere di individuare variazioni laterali di velocità delle onde di taglio, zone isolate a bassa velocità, l'andamento del bedrock e discontinuità verticali tipo faglie.

### Operazioni di campagna

Le metodiche analitiche del sistema rendono possibile operare in ambienti fortemente "inquinati" da rumore urbano e industriale tanto che ogni sito si presta ad essere studiato a patto che ci sia la possibilità di gestire in "sicurezza" uno stendimento complessivo di 50-200 mI.'

Osservate le comuni precauzioni che si adottano in qualsiasi campagna sismica (accoppiamento e verticalità dei geofoni, ad es.) si stabilisce la distanza intergeofonica (che sarà funzionale al target e compatibile con l'area disponibile), si impostano i parametri di acquisizione, intervallo di campionamento

(sample rate, che varia da 2 a 4 ms) e tempo di registrazione (record length, da 15 a 30 s), ripetendo le misure dalle 4 alle 6 volte.

La spaziatura geofonica rappresenta una sorta di filtro in frequenza per il segnale che può arrivare da tutte le direzioni. E' quindi implicito che maggiore è la spaziatura minore è la frequenza del segnale utile campionabile e di conseguenza maggiore è la profondità di investigazione. Questo fattore diventa interessante, e fondamentale, qualora l'oggetto dell'indagine sia la modellazione profonda, mentre può essere trascurabile se la finalità della misura è la definizione del profilo sismico verticale relativo a poche decine di metri.

## **DESCRIZIONE INDAGINE SISMICA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)**

Il MASW analizza la proprietà dispersiva del modo fondamentale delle onde Rayleigh che si propagano orizzontalmente lungo la superficie direttamente dal punto di energizzazione ai ricevitori. L'inversione della curva di dispersione fornisce un accurato profilo delle onde di taglio al centro dell'array fino ad una profondità che in genere è  $\frac{1}{2}$  della lunghezza d'onda campionata. Il principale vantaggio di questa tecnica è l'approccio multicanale che permette di discriminare il segnale ricercato da altri tipi in base alla coerenza.

Si sono utilizzati 24 ricevitori a 8.0 Hz collegati ad un sismografo multicanale. Ogni registrazione multicanale consiste di 24 sismogrammi, disposti in ordine e corrispondenti al moto rilevato ad ogni geofono

La sorgente utilizzata è stata una piccola carica esplosiva e, nell'eseguire le singole energizzazioni, si è atteso un momento di relativo silenzio.

Inoltre, si sono ripetute le energizzazioni più volte, sommando successivamente i segnali ottenuti in modo aritmetico, ottenendo così un aumento del rapporto segnale-rumore.

Per ogni registrazione si sono eseguite 3 energizzazioni.

La sorgente è stata sempre posizionata esternamente all'array, e sempre in asse con esso, prima del primo geofono ad una distanza che è stata circa il 10 % dell'array ossia 3 metri dal primo geofono.

Non si sono ripetute le energizzazioni anche all'altro estremo dell'array, cioè vicino all'ultimo geofono.

Per un sistema perfetto a strati piani e paralleli questa metodologia non avrebbe nessuna utilità aggiuntiva in fase di analisi, in quanto il sistema sarebbe esattamente simmetrico al caso dell'energizzazione standard (cioè fatta in corrispondenza del primo geofono). Infatti i nuovi dati, a parte il rumore, dovrebbero contenere esattamente lo stesso segnale utile presente negli altri dati.

Sfortunatamente, sarà quasi impossibile trovare un sistema perfetto, cioè sarà sempre presente una minima variazione stratigrafica lungo l'array. La variabilità delle curve velocità di fase-frequenza ottenute assemblando diverse combinazioni di battute indica l'incertezza nella misura e quindi della procedura di inversione.

Acquisiti i dati si procede eseguendo una trasformata bidimensionale frequenza-velocità di fase che permette di individuare il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e, quindi, di estrarre la curva di dispersione; l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale

delle Vs (profilo 1-D), al centro del profilo, si ottiene ricercando il modello, con assegnata velocità delle onde P e peso di volume naturale, che meglio fitta la curva di dispersione. È necessario sottolineare che, in tutti i codici che simulano la propagazione delle onde di superficie, i parametri Vp e densità sono estremamente poco influenti ai fini del modello. Ne consegue che:

**In nessun caso si può ritenere che il modello dia profili di Vp e densità.**

Questo, sottolineiamo ancora, vale per qualsiasi codice basato sulle onde di superficie. L'implicazione diretta è che i valori di Vp e densità da introdurre nel codice possono essere praticamente qualsiasi, seppur ragionevoli, pertanto, per le Vp sono stati ricavati i valori sulla base delle Vs secondo la relazione di Kitsunezaki (1990) che è:

1. Sopra il livello dell'acqua

$$V_p = 2 * V_s$$

2. Sotto il livello dell'acqua

$$V_p = 1.11 * V_s + 1290$$

Il peso di volume naturale utilizzato nell'inversione della curva di dispersione è quello ricavato dalla relazione proposta da Ludwig et al (1970) che correla le onde P al peso naturale del terreno

Il modello - *opportunamente applicato* - può invece essere considerato uno stimatore del profilo di Vs con errori confrontabili a quelli di metodi più tradizionali, per lo meno nei primi 30 m di profondità.

## **Risultati della campagna di indagini effettuata combinando MASW e ReMi**

Scopo della presente campagna di indagini geofisiche è stato quello di investigare i terreni per le profondità di interesse geotecnico al fine di fornire una caratterizzazione sismica degli stessi. L'indagine effettuata ha permesso di ricostruire le **velocità medie delle onde di taglio** nel sottosuolo fino ad una profondità di 30 m circa.

I risultati sono sintetizzati nell'allegato chiamato Surface Wave Analysis dove sono rappresentati:

- La geometria dei geofoni a 8 Hz
- Il grafici frequenza - lentezza (inverso della Velocità di fase) rappresentante la trasformata bidimensionale per il ReMi
- la curva della dispersione in frequenza della velocità di fase per il modo fondamentale delle onde Rayleigh per il MASW
- il picking della curva della dispersione in frequenza della velocità di fase per il modo fondamentale delle onde Rayleigh sia per il MASW che per il Remi
- Il picking in formato numerico delle due curve di dispersione
- Il confronto fra il picking del MASW e del ReMi
- Il picking in formato numerico risultante dall'unione delle due curve di dispersione
- Le curve di dispersione sperimentale e teorica
- Il modello e il risultato del calcolo della Vs<sub>30</sub>

## Stima dei parametri elastici dinamici e rigidità sismica

Misurando le  $V_p$  con il metodo della rifrazione e le velocità delle onde di taglio  $S$  con il metodo ReMi e utilizzando la densità bifase del mezzo ( $\rho$ ), data dal rapporto fra il peso di volume e l'accelerazione di gravità ( $g$ ), si ottengono i parametri elastici dinamici dalle seguenti formule:

1. Coefficiente di Poisson

$$\nu = \frac{\left[ 0.5 * \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1 \right]}{\left[ \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1 \right]}$$

2. Modulo di deformazione a taglio dei terreni

$$G = \rho * V_s^2$$

3. Modulo di compressibilità volumetrico

$$K = \rho * \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

4. Modulo di Young

$$E = \rho * V_s^2 \frac{3 \cdot V_p^2 - 4 \cdot V_s^2}{V_p^2 - V_s^2}$$

### Stima dei parametri elastici statici.

I moduli elastici dinamici sono misurati per piccole deformazioni ( $< 10^{-4}$ ) e si osserva che i loro valori decrescono con l'aumentare delle deformazioni. I moduli elastici statici misurati in laboratorio sono pertanto più piccoli di quelli misurati in sito e delle correlazioni empiriche permettono di ottenerli partendo da quelli elastici dinamici.

Nelle misure di laboratorio il rapporto  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di young o elastico dinamico –  $E_s$  modulo di young o elastico statico) è comunemente 2.0 [Cheng and Johnston, 1981], ma per misure in sito questo rapporto varia fra 1.5 e 9.1 [Gudmundsson, 1990; Link, 1968].

**Le correlazioni empiriche da noi proposte vanno comunque sempre provate.**

Rzhevsky e Novic hanno proposto la seguente relazione:

$$E_{din} = 8.3 E_{stat} + 0.97 \quad E_{stat} = (E_{din} - 0.97) / 8.3$$

Massarch (1984) ha proposto la seguente relazione per passare dal modulo di taglio dinamico a quello statico:

$$G_{stat} = R * G$$

dove  $R$  è un parametro che è 0.15 per le sabbie mediamente dense  
dai due parametri si ricavano gli altri parametri elastici statici

1. Modulo di Poisson

$$\nu = (E - 2G) * / (2G)$$

2. Modulo di compressibilità volumetrico

$$K = G * E / [3(3G - E)]$$

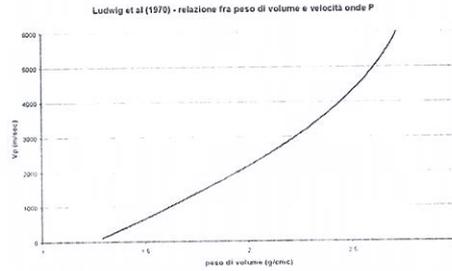
3. Modulo edometrico

$$E_{ed} = G * (4G - E) * / (3G - E)$$

4. Modulo di carico su piastra

$$M_e = 16G^2 / [\pi(4G - E)]$$

E' inoltre possibile correlare le velocità delle onde longitudinali al peso specifico naturale dei terreni con la relazione di Ludwig et al (1970).



Paolisi, 16 novembre 2012

**Tecnogeo Srl**  
IL RESPONSABILE DELL'INDAGINE  
GEOL. MAURIZIO GALLO  
TECNOGEO s.r.l.

## RISULTATI SONDAGGIO SISMICO SS1 (Surface Wave Analysis)

### INTERPRETAZIONE

profondità, m	Peso naturale g/cc	Vp, m/s	Vs, m/s
0.0 - 4.65	1.40	318.0	159.0
4.65 - 19.5	1.60	431.7	215.8
19.5 - 30	1.80	500.0	250.0

$$V_{S30} = 30 / \sum_1^n h_i / V_i = 214.2 \text{ m/sec}$$



## Surface Wave Analysis

## MASW 01 - ReMi 01

- committente:	IN.CO.SE.T. S.r.l.	- data:	23/10/2012
- lavoro:	Opere infrastrutturali integrative connesse alla convenzione per la realizzazione dell'insediamento produttivo in via Ferrante Imparato, 501 – Area ex ICMI	- Commessa:	W313
- località:	Via Traversa Il Macello – Napoli	- Rif:	GM133
- note:			

### POSIZIONE DELLE SORGENTI LUNGO IL PROFILO

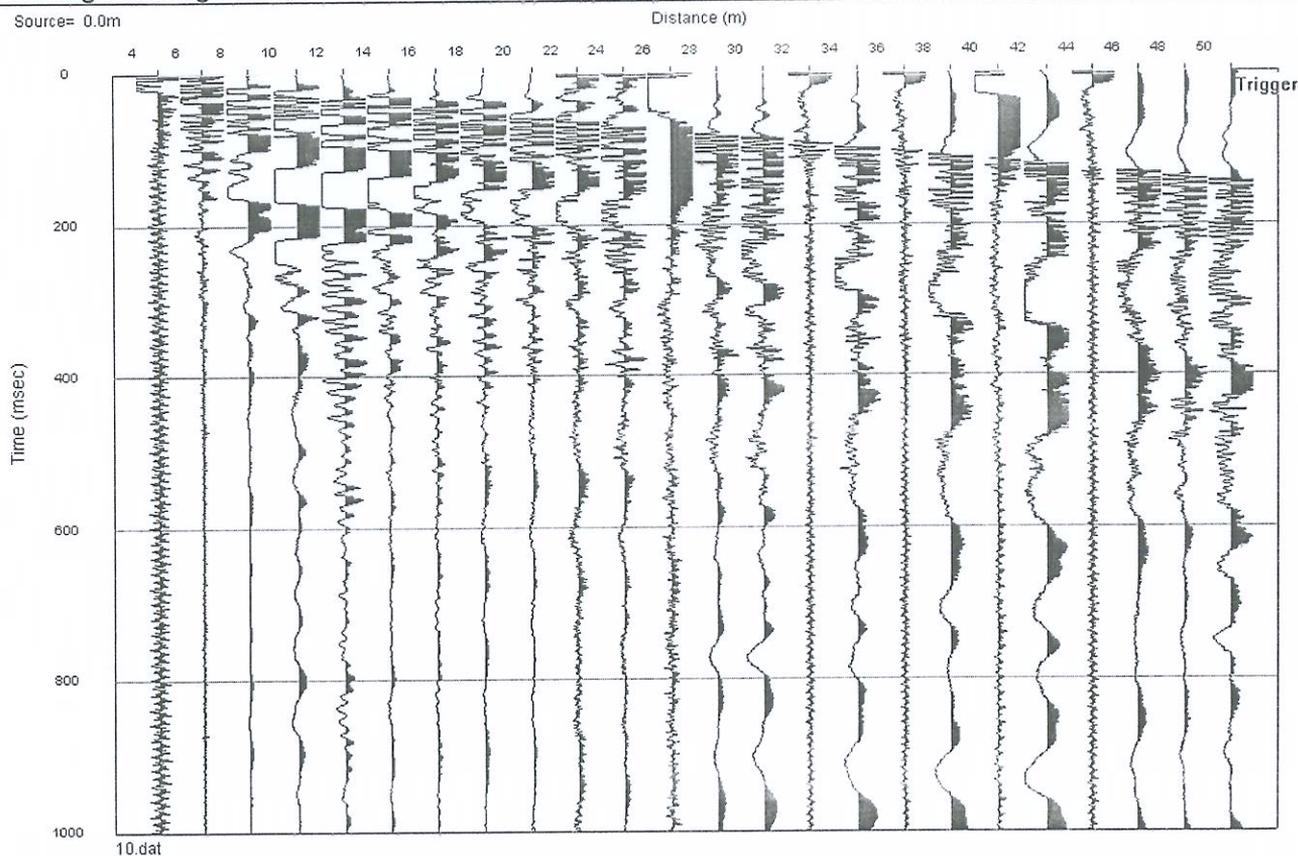
SORGENTE	S1	S2		
DISTANZA (m)	0.00	54.00		
Quote (m)	0.00	0.00		

GEOFONI	DISTANZE (m)	QUOTE (m)	MASW		REMI	
			Tempo registrazione msec	Intervallo campionamento ms	Tempo registrazione sec	Intervallo campionamento ms
G1	4.0	0.00	1000	1	30	2
G2	6.0	0.00				
G3	8.0	0.00				
G4	10.0	0.00			Numero registrazioni	Registrazioni usate
G5	12.0	0.00			10	10
G6	14.0	0.00				
G7	16.0	0.00				
G8	18.0	0.00				
G9	20.0	0.00				
G10	22.0	0.00				
G11	24.0	0.00				
G12	26.0	0.00				
G13	28.0	0.00				
G14	30.0	0.00				
G15	32.0	0.00				
G16	34.0	0.00				
G17	36.0	0.00				
G18	38.0	0.00				
G19	40.0	0.00				
G20	42.0	0.00				
G21	44.0	0.00				
G22	46.0	0.00				
G23	48.0	0.00				
G24	50.0	0.00				

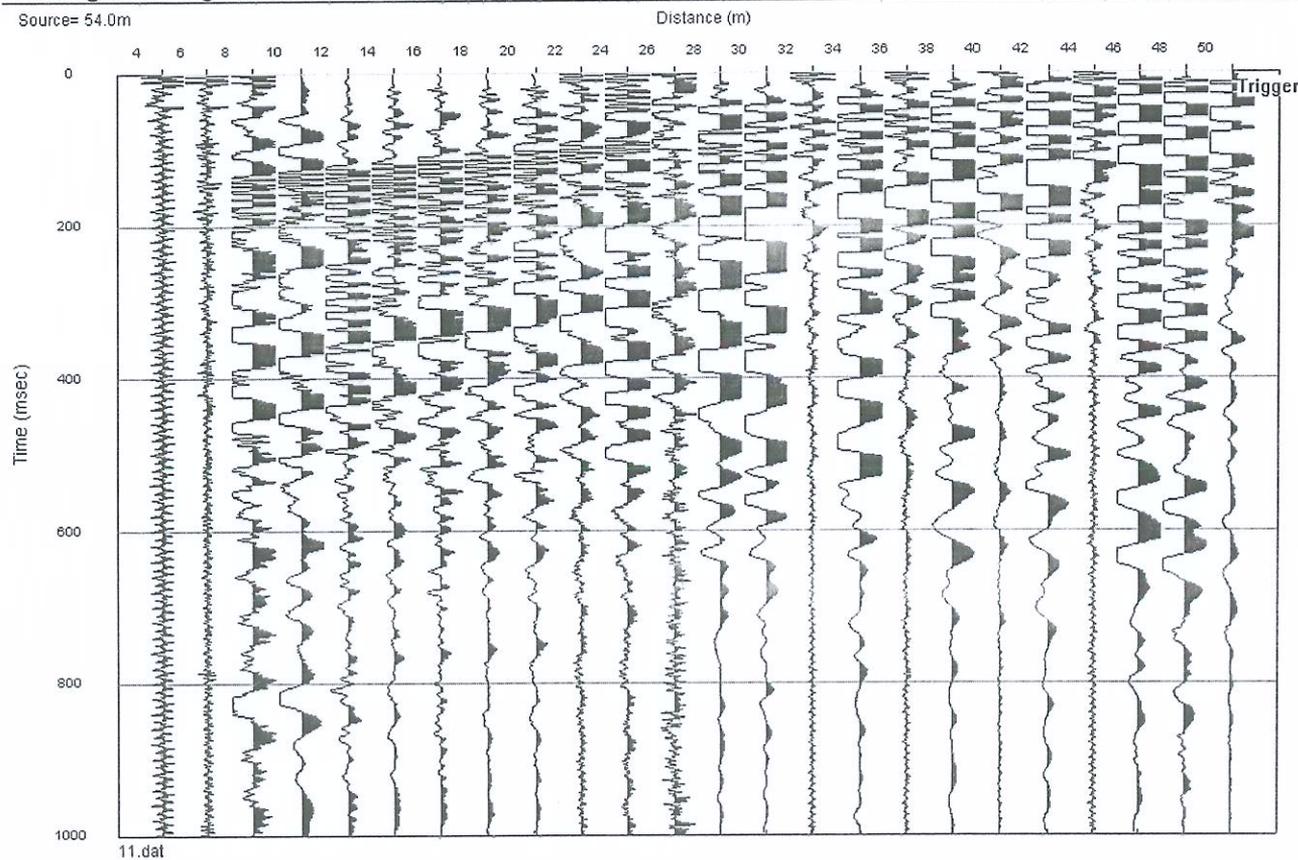
## Surface Wave Analysis

## MASW 01 - ReMi 01

### Sismogrammi registrati a sinistra dell'array per il MASW



### Sismogrammi registrati a destra dell'array per il MASW



## Surface Wave Analysis

## MASW 01 - ReMi 01

Diagramma lentezza(inverso velocità fase)-frequenza con picking della curva di dispersione sperimentale per il MASW con sorgente a sinistra

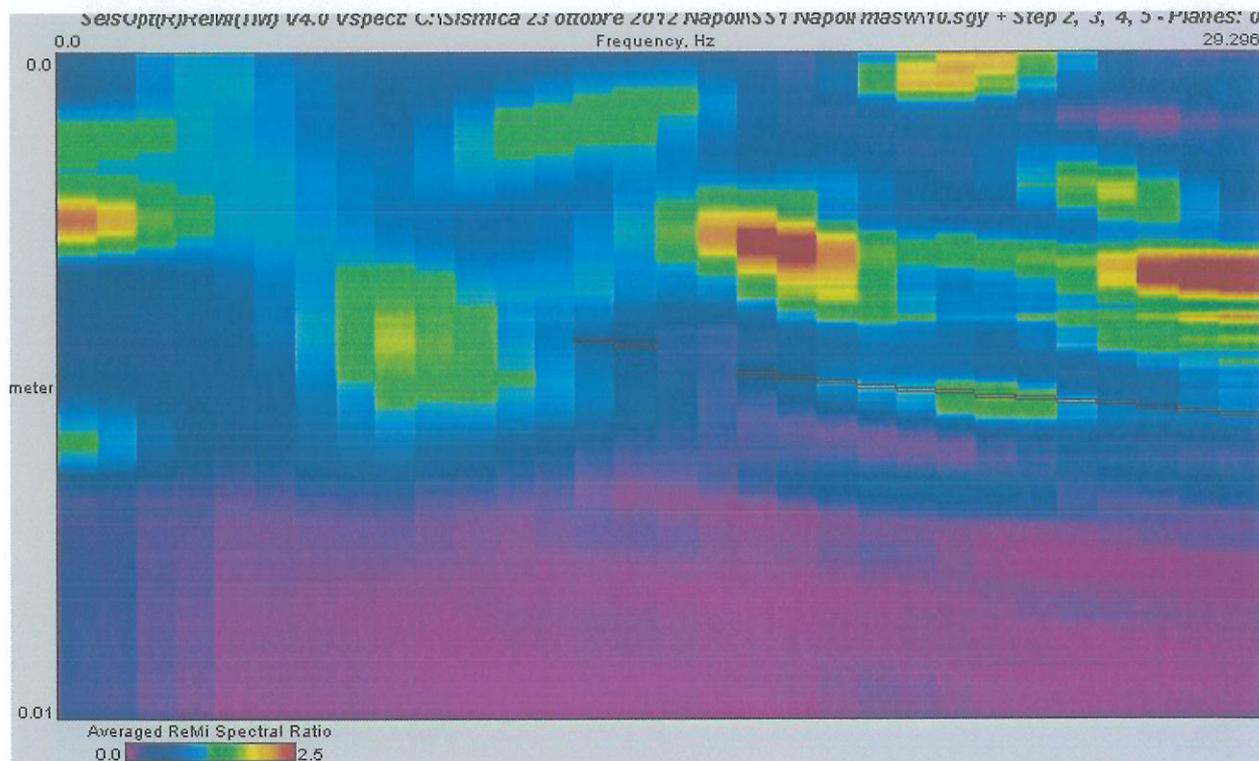
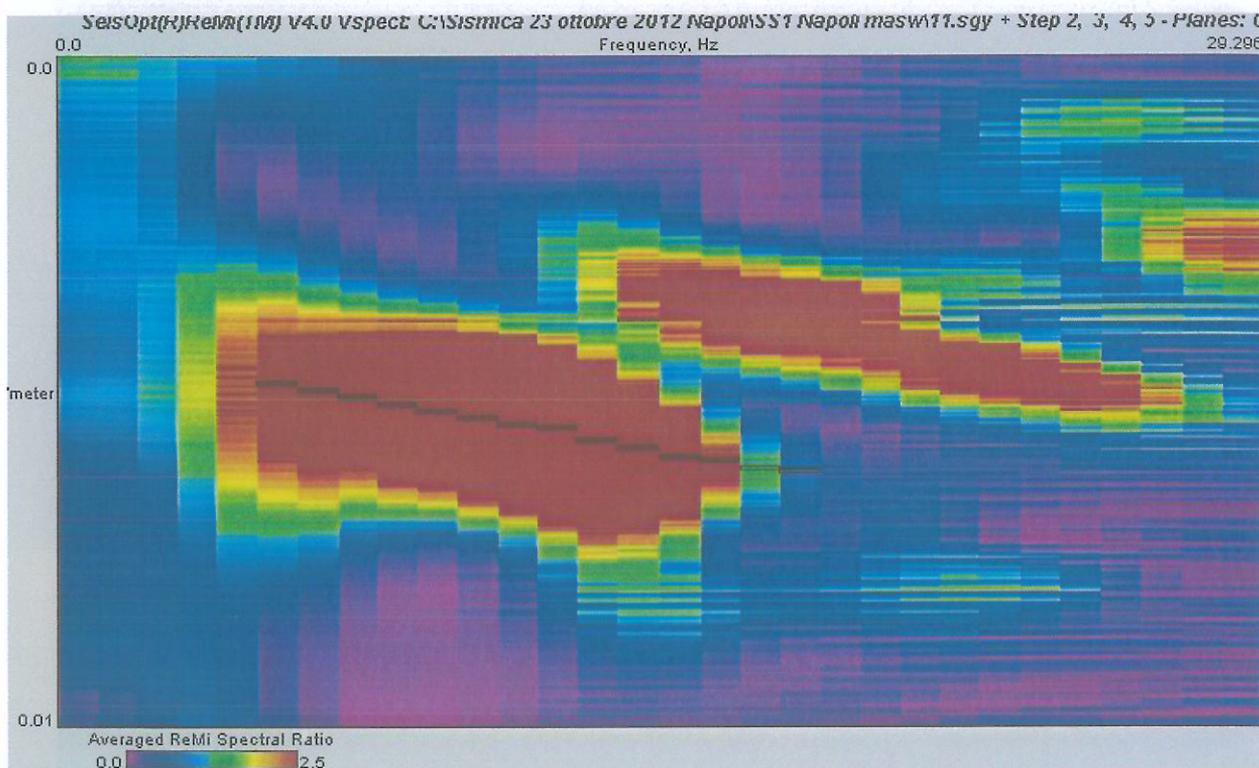


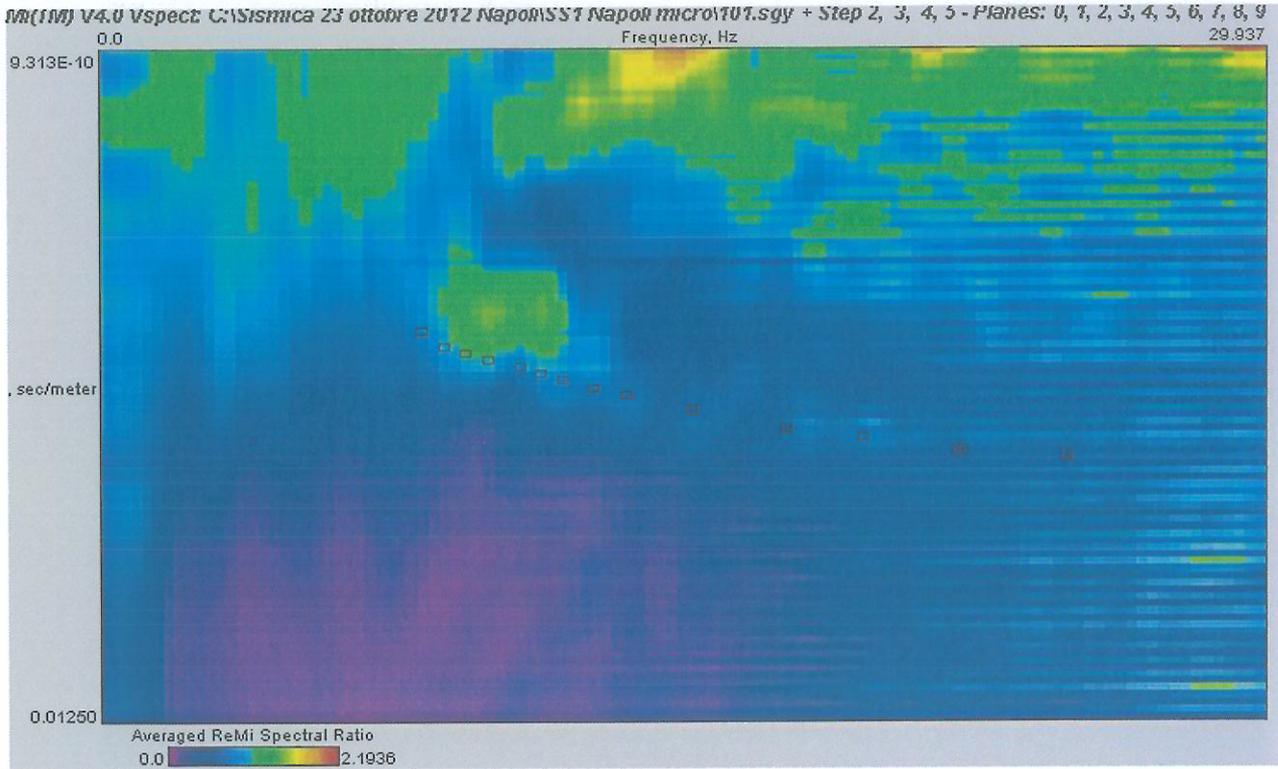
Diagramma lentezza(inverso velocità fase)-frequenza con picking della curva di dispersione sperimentale per il MASW con sorgente a destra



## Surface Wave Analysis

## MASW 01 - ReMi 01

Diagramma lentezza(inverso velocità fase)-frequenza con picking della curva di dispersione sperimentale per il ReMi



## Surface Wave Analysis

## MASW 01 - ReMi 01

### Curva di dispersione sperimentale MASW

SS1	
frequenza, Hz	Velocità di fase,
12.695	231.4815
13.671	228.8330
16.601	207.9002
17.578	204.4990
18.554	202.4291
19.531	200.0000
20.507	198.0198
21.484	197.2387
22.46	194.1748
23.437	193.0502
24.414	191.2046
25.39	190.1141
26.367	187.6173
27.343	185.5288
28.32	183.8235

### Curva di dispersione sperimentale MASW

SS2	
frequenza, Hz	Velocità di fase,
4.8828	205.7613
5.8593	201.2072
6.8359	198.0198
7.8124	193.0502
8.789	189.3939
9.7656	185.5288
10.742	182.1494
11.718	180.5054
12.695	175.4386
13.671	171.5266
14.648	167.7852
15.624	166.3894
16.601	162.8664
17.578	161.5509

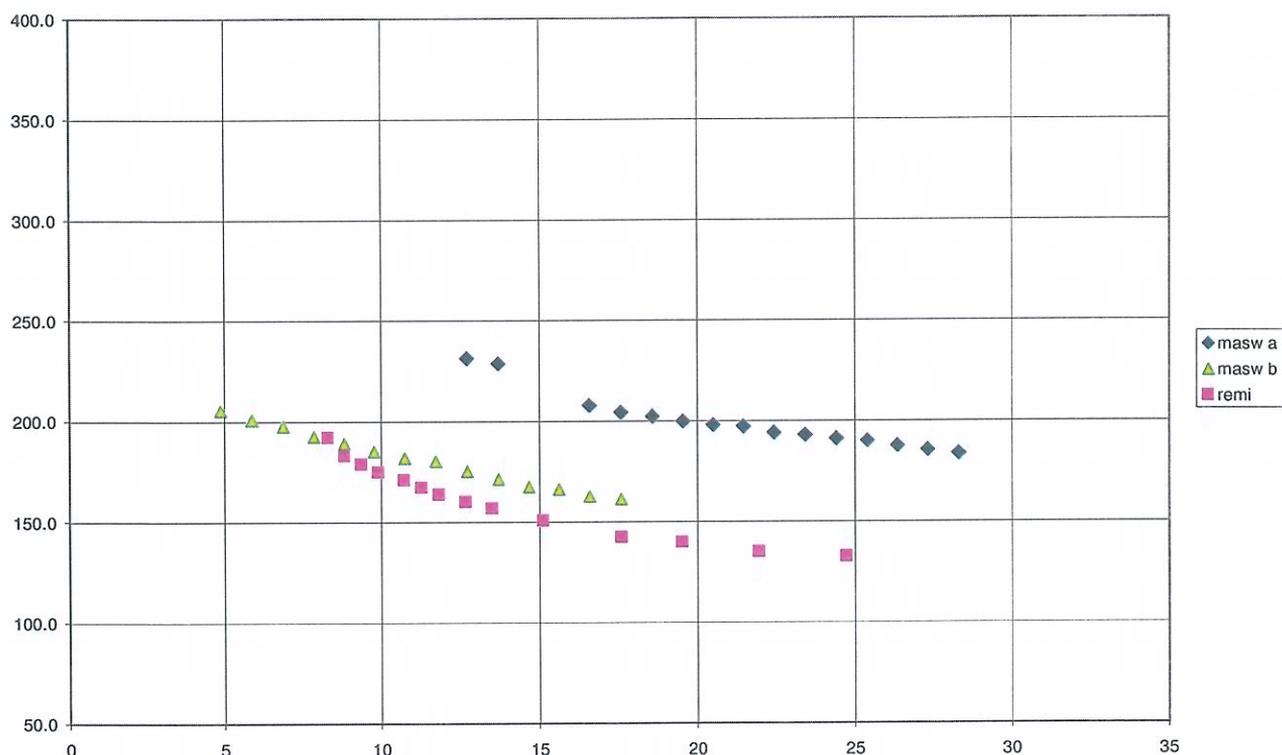
### Curva di dispersione sperimentale ReMi

SS1	
frequenza, Hz	Velocità di fase,
8.2397	192.3077
8.789	183.1502
9.3383	178.8909
9.8876	174.8252
10.711	170.9402
11.26	167.2241
11.81	163.6661
12.634	160.0000
13.458	156.7398
15.106	150.6024
17.578	142.2475
19.5	139.6648
21.972	134.7709
24.719	132.4503

## Surface Wave Analysis

## MASW 01 - ReMi 01

### Confronto fra Curva di dispersione sperimentale MASW (con sorgente a destra e a sinistra) e ReMi



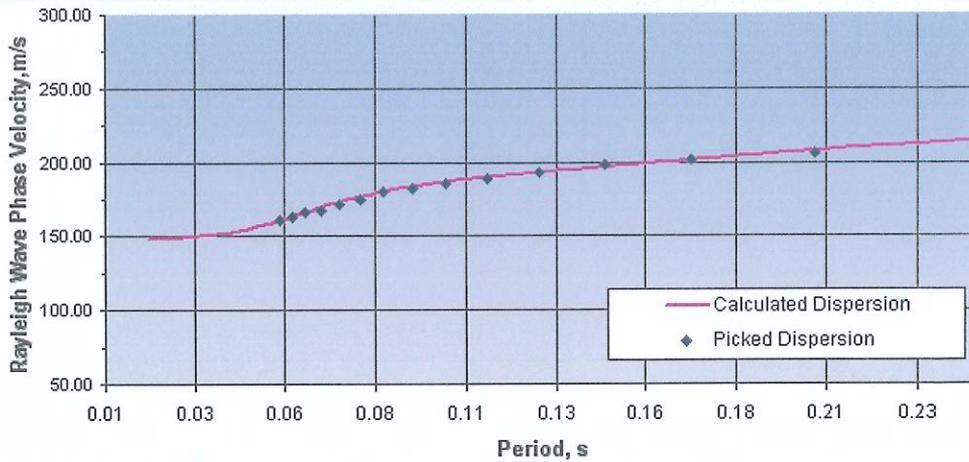
### Curva di dispersione sperimentale MASW - ReMi

SS01			
frequenza, Hz	Velocità di fase, m/s	frequenza, Hz	Velocità di fase, m/s
4.8828	205.7613	11.718	180.5054
5.8593	201.2072	12.695	175.4386
6.8359	198.0198	13.671	171.5266
7.8124	193.0502	14.648	167.7852
8.789	189.3939	15.624	166.3894
9.7656	185.5288	16.601	162.8664
10.742	182.1494	17.578	161.5509

## Surface Wave Analysis

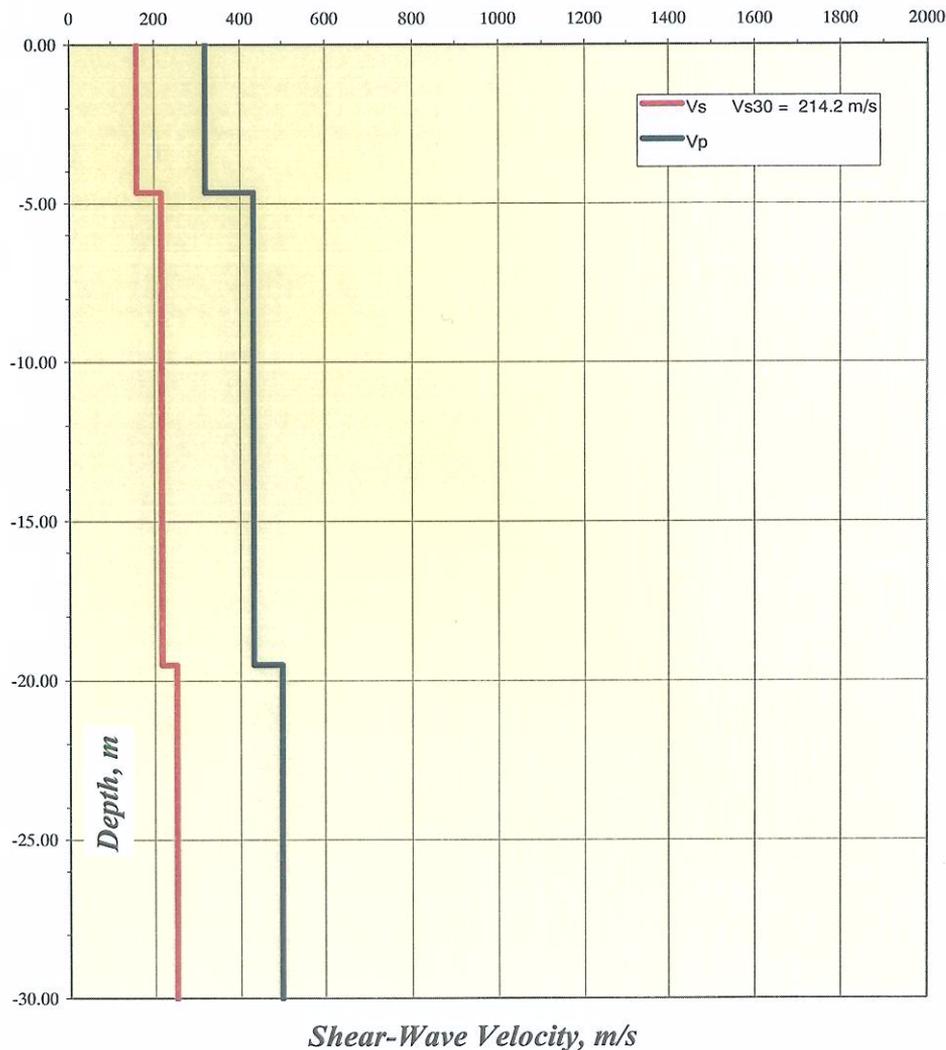
## MASW 01 - ReMi 01

### Curva di dispersione teorica e sperimentale (velocità di fase-periodo)



### MODELLO DEL SOTTOSUOLO con indicazione delle P e delle S - RMS = 1.13 m/sec

#### *Vs Model*



**Surface Wave Analysis**

**MASW 01 - ReMi 01**

**INTERPRETAZIONE**

profondità, m	Peso naturale g/cc	Vp, m/s	Vs, m/s
0.0 - 4.65	1.40	318.0	159.0
4.65 - 19.5	1.60	431.7	215.8
19.5 - 30	1.80	500.0	250.0

$$V_{S_{30}} = 30 / \sum_1^n h_1 / V_1 = 214.2 \text{ m/sec}$$



## DESCRIZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE DOWN-HOLE

- committente:	IN.CO.SE.T. S.r.l	- data:	23/10/2012
- lavoro:	Opere infrastrutturali integrative connesse alla convenzione per la realizzazione dell'insediamento produttivo in via Ferrante Imparato n° 501 – Area ex ICMI	- Commessa:	W313
- località:	Via N. Miraglia – Napoli	- Rif:	GD028
- note:			

Nella prospezione sismica si producono delle onde elastiche con una massa battente o con una carica esplosiva e si registrano, dopo che hanno percorso un certo tragitto nel sottosuolo, le onde che riemergono con un sismografo collegato a dei rilevatori del moto del suolo (geofoni).

Il metodo della sismica a rifrazione utilizza quelle onde che, quando incontrano una discontinuità, subiscono il fenomeno della rifrazione. In particolare si registra il tempo che impiega il treno d'onda per arrivare al geofono.

- Utilizzando un geofono tridimensionale da pozzo si ricavano i tempi di arrivo delle onde sismiche longitudinali e trasversali.

### Apparecchiatura utilizzata

L'apparecchiatura utilizzata è data dai moduli sismici chiamati "Geode™" della Geometrics collegati tramite una PCMCIA ad un computer portatile. Il Geode è controllato dal computer ad esso collegato con un software chiamato Geode Operative Software (GOS). Ad un singolo **geode**, per una indagine, possono essere collegati fino a 24 "geofoni", ossia rilevatori delle vibrazioni indotte nel sottosuolo. Per lo scopo dell'indagine è stato collegato un geofono tridimensionale da pozzo. Il geode è controllato da un software chiamato Single Geode Operative Software (SGOS).



L'apparecchiatura è dotata di incremento automatico del segnale con algoritmo di sommatoria e consente la visione in simultanea dei dati sullo schermo del computer. Si può, inoltre, manipolare il segnale con appositi di filtri, verificare il livello di rumori generati da sorgenti estranee (vento, rumori naturali, mezzi meccanici, ecc.) e scegliere l'amplificazione più idonea del segnale.

L'energizzazione è fornita da una mazza a cui è legato un trigger che dà il tempo iniziale dell'eccitazione.

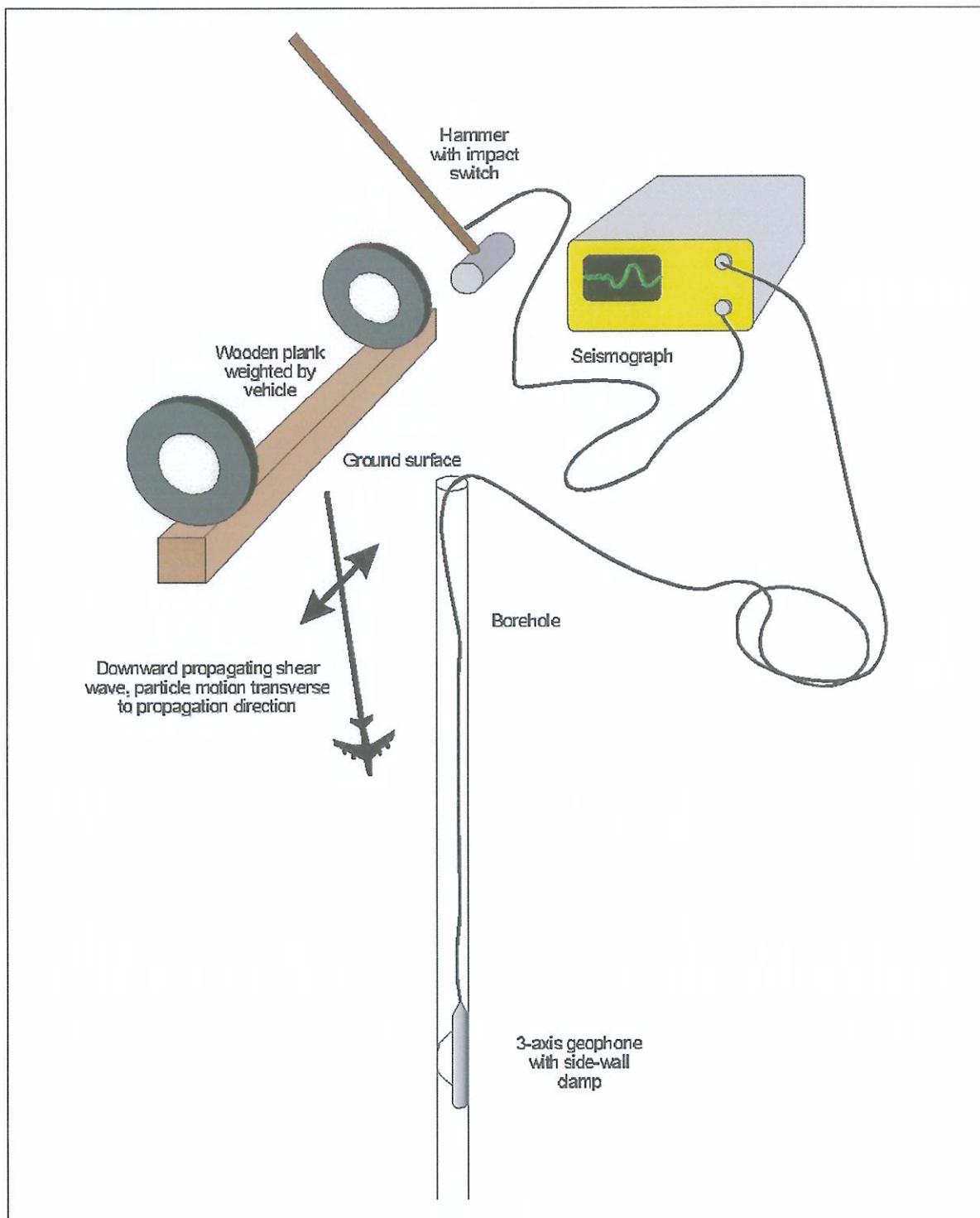
La misura delle vibrazioni indotte è eseguita con un geofono da pozzo che è costituito da tre geofoni: uno verticale che misura le vibrazioni longitudinali e due orizzontali che misurano le due componenti orizzontali della onda di taglio S (SV e SH)

Il geofono da pozzo modello BHGC1 della "geostuff" è dotato di un sistema di ancoraggio che si aziona da una centralina e di un sistema che lo orienta sempre al nord.

## SONDAGGIO DOWN HOLE

### Procedura sperimentale down hole

In Figura é rappresentato lo schema di una prova down hole.



La sorgente consiste in una trave di legno tenuta ferma con un veicolo e che viene colpita lateralmente con un martello a cui è agganciato un trasduttore di velocità utilizzato come trigger. Quando si colpisce lateralmente la trave, si applica uno sforzo di taglio al suolo e onde prevalentemente trasversali si muovono perpendicolarmente alla trave verso il geofono.

La procedura sperimentale si articola nelle seguenti fasi:

- dopo avere opportunamente predisposto il piano d'appoggio, la sorgente viene adagiata in superficie ad una distanza di 4 m dal foro. Viene orientata in direzione ortogonale ad un raggio uscente dall'asse del foro;
- i ricevitori vengono collegati in modo da impedirne la rotazione relativa (trasduttori orizzontali a due a due paralleli e concordi - orientamento relativo) e di fissarne la distanza (2 m): un motore orienta il geofono della Geostuff sempre a nord;
- i ricevitori vengono assicurati alle pareti del tubo di rivestimento;
- si colpisce la parte superiore della trave e si registra solo l'arrivo dell'onda longitudinale (P)
- si colpisce la sorgente da un lato e si misura solo sui due geofoni orizzontali. Si registra l'involuppo delle due componenti dell'onda S (onda di taglio) e dell'onda longitudinale.
- si colpisce la trave dall'altro lato e si registra il segnale: l'onda trasversale che si produce ha polarità inversa rispetto a quella registrata prima e la P ha la stessa polarità.
- eseguite tutte le registrazioni volute, la profondità dei ricevitori viene modificata e la procedura sperimentale ripetuta.
- In fase di elaborazione, si osserva che nel tratto iniziale della registrazione, ove è presente solo l'onda P, si ha sovrapposizione fra le due registrazioni e quando comincia l'onda S, si osserva una inversione di fase. (è il tipo di osservazione eseguita nelle elaborazioni presentate)
- Se si sommano le due onde S, quella positiva e quella negativa, invertendo il segno, rimane solo l'onda S

#### Acquisizione e Interpretazione delle misure down hole

Vengono registrati i tempi di arrivo delle onde P e le due componenti orizzontali della onda S.

Queste registrazioni forniscono tre sismogrammi per ogni registrazione che hanno una frequenza compresa fra i 5 e i 100 Hz.

Le onde sono state registrate con intervallo di campionamento di 0.25 msec per 200.0 msec.

Per l'analisi delle down hole i tempi di viaggio (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore (d) vengono inizialmente corretti per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Detta H la distanza della sorgente dall'asse del foro e z la profondità del geofono, la trasformazione dei tempi nei corrispondenti valori modificati (Tv), si ottiene mediante la semplice formula di conversione:

$$Tv = \frac{z}{d} * t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + H^2}}$$

Successivamente, i tempi t vengono diagrammati in funzione della profondità (z). In tal modo la velocità media delle onde SH e P in strati omogenei di terreno è descritta dall'inclinazione rispetto all'asse dei tempi di segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali. Viene fornita anche una stima delle velocità Vs e Vp per strati di 2 metri di spessore.

Utilizzando la densità bifase del mezzo ( $\rho$ ), data dal rapporto fra il peso di volume e l'accelerazione di gravità (g), si ottengono i parametri elastici dinamici dalle seguenti formule:

1. Coeff. di Poisson

$$\nu = \frac{\left[ 0.5 * \left( \frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 1 \right]}{\left[ \left( \frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 1 \right]}$$

2. Modulo di deformazione a taglio dei terreni

$$G = \rho * V_S^2$$

3. Modulo di compressibilità volumetrico

$$K = \rho * \left( V_P^2 - \frac{4}{3} V_S^2 \right)$$

4. Modulo di Young

$$E = \rho * V_S^2 \frac{3 \cdot V_P^2 - 4 \cdot V_S^2}{V_P^2 - V_S^2}$$

Dalla relazione di Ludwig (1970), si fornisce anche il peso di volume naturale del terreno

5. Peso di volume naturale

$$\gamma_n = 1.2745 + 0.399 * V_p - 0.026 * V_p^2$$

### Stima dei parametri elastici statici.

I moduli elastici dinamici sono misurati per piccole deformazioni ( $< 10^{-4}$ ) e si osserva che i moduli elastici in generale decrescono con l'aumentare delle deformazioni. I moduli elastici statici misurati in laboratorio (deformazioni  $> 10^{-4}\%$ ) sono pertanto più piccoli di quelli misurati in sito e si possono essere correlati a quelli elastici dinamici. Le correlazioni sono empiriche e vanno di volta in volta provate.

Nelle misure di laboratorio il rapporto  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di young o elastico dinamico –  $E_s$  modulo di young o elastico statico) è comunemente 2.0 [Cheng and Johnston, 1981], ma per misure in sito questo rapporto varia fra 1.5 e 9.1 [Gudmundsson, 1990; Link, 1968].

Rzhevsky e Novic hanno proposto la seguente relazione:

$$E_{din} = 8.3 E_{stat} + 0.97 \quad E_{stat} = (E_{din} - 0.97) / 8.3$$

Massarch (1984) ha proposto la seguente relazione per passare dal modulo di taglio dinamico e quello statico:

$$G_{stat} = R * G$$

dove R è un parametro che è 0.18 per terreni ghiaiosi e 0.11 per terreni fini.  
dai due parametri si ricavano gli altri parametri elastici statici

1. Modulo di Poisson

$$\nu = (E - 2G) * (2G)$$

2. Modulo di compressibilità volumetrico

$$K = G * E / [3(3G - E)]$$

3. Modulo edometrico

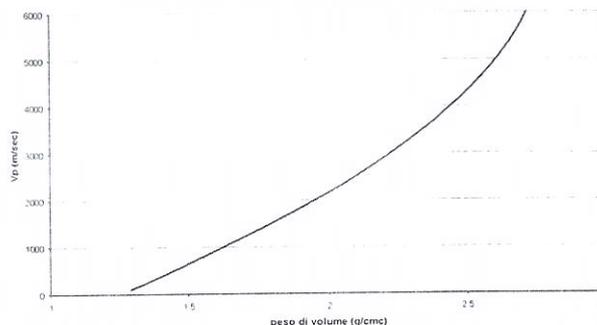
$$e_d = G * (4G - E) * (3G - E)$$

4. Modulo di carico su piastra

$$M_e = 16G^2 / [\pi(4G - E)]$$

**E' inoltre possibile correlare le velocità delle onde longitudinali al peso specifico naturale dei terreni con la relazione di Ludwig et al (1970).**

Ludwig et al (1970) - relazione fra peso di volume e velocità onde P



**Si fornisce inoltre anche la Vs30 definita dalla nuova normativa**

L'Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica, che ci adegua allo standard europeo e mondiale. Oltre alle importanti novità relative alle metodologie di calcolo ingegneristico è stata introdotta la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto in 5 categorie principali (dalla A alla E) a cui ne sono aggiunte altre 2 (S1 ed S2 per le quali sono richiesti studi speciali per definire l'azione sismica da considerare), sulla base del parametro Vs30. Questo rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30 m di profondità (al di sotto del piano di fondazione) ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{S30} = 30 / \sum_1^n h_i / V_i$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$  esimo per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 metri superiori. La proposta della nuova normativa conclude che il sito verrà classificato sulla base del valore di Vs se disponibile, altrimenti sulla base del valore di Nspt o della cu.

## PROVA SISMICA IN FORO - DOWN- HOLE

## DH S1

### DISCRETIZZAZIONE IN STRATI OMOGENEI

#### PARAMETRI ELASTICI DINAMICI DEI TERRENI

Strato	Spessore	Peso di Volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (Kg*sec <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )	Velocità media Vp (m/s)	Velocità media Vs (m/s)	Indice di Poisson $\nu$	Modulo di Young E (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di Taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. di Incompressibilità K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Rigidità
1	0.00-3.69	1.67	169.75	1130.3	133.8	0.49	907.02	303.78	21280.94	0.22
2	3.69-10.45	1.82	185.81	1610.9	271.0	0.49	4052.78	1364.17	46396.43	0.49
3	10.45-20.71	1.97	200.70	2093.7	391.8	0.48	9130.82	3080.87	83872.63	0.77
4	20.71-30.00	2.10	213.64	2549.8	444.6	0.48	12539.06	4223.85	133265.14	0.93

#### STIMA DEI PARAMETRI ELASTICI STATICI

Strato	Spessore	Peso di Volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	Indice di Poisson $\nu$	Modulo di Young E (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di Taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. di Incompressibilità K (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di carico su piastra Me (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.00-3.69	1.67	0.33	5.42	2.03	8.14	5.42	7.77
2	3.69-10.45	1.82	0.33	56.04	21.02	84.07	56.04	80.28
3	10.45-20.71	1.97	0.35	198.99	73.53	323.91	225.88	289.46
4	20.71-30.00	2.10	0.33	326.38	122.39	489.57	326.38	467.51

$$V_{S30} = 30 / \sum_1^n h_1 / V_1 = 301.2 \text{ m/sec al p.c.}$$

angoli di attrito utilizzato nei calcoli

Strato	Spessore	$\phi^\circ$
1	0.00-3.69	30
2	3.69-10.45	30
3	10.45-20.71	27
4	20.71-30.00	30

Paolisi, 10 novembre 2012

**Tecnogeo Srl**

IL RESPONSABILE DELL'INDAGINE  
GEOL. MAURIZIO GALLO

TECNOGEO S.R.L.