## 3.3 Strumentazione e metodologia di indagine

Le prospezioni sismiche con metodologia MASW sono state eseguite con la strumentazione descritta al precedente § 2.2. Per la presente indagine si è adottata una frequenza di campionamento pari a 2000 Hz e una durata del campionamento di 2 secondi. Per l'acquisizione delle onde di superficie i sensori sono costituiti da una catena di 24 geofoni verticali Geo-space GS-11D da 4.5Hz 4000 ohms equispaziati con interdistanza geofonica di 3,0 mt.

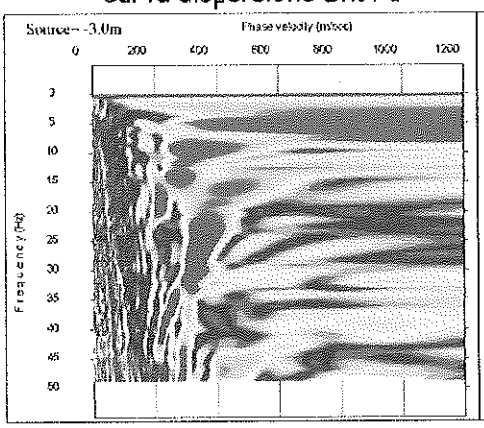
I fondamenti teorici della metodologia MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali; pertanto una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 15°-20° sia della topografia che delle diverse discontinuità elastiche. Per valutare la validità di monodimensionalità (strati piano paralleli) e la stabilità della curva di dispersione caratteristica del sito, durante la fase di acquisizione si sono eseguiti due shots coniugati posti alle estremità opposte dello stendimento.

Per ciascun punto di scoppio si sono eseguite più energizzazioni con le tracce che sono state poi sommate al fine di evidenziare il segnale sismico (stack) rispetto ai rumori ambientali presenti.

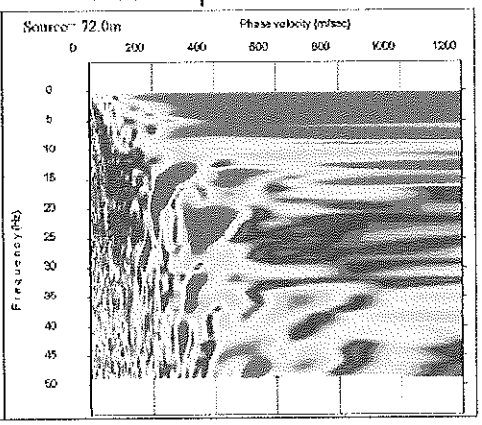
La base sismica con metodologia MASW è stata eseguita con 2 punti di scoppio coniugati secondo lo schema di seguito riportato.




Curva dispersione Shot 1




Curva dispersione Shot 2




Le curve di dispersione così ottenute, riportate nelle precedente figura, risultano fra loro similari confermando quindi l'applicabilità della metodologia MASW; il processo di

inversione è stato eseguito sulla curva di dispersione ottenuta dallo Shot 1, posto ad una distanza di 3,0 mt dal geofono G1, meglio definita nell'intervallo di frequenze utilizzato e caratterizzata dal miglior rapporto segnale/rumore e dal minore errore sul fitting con la curva di dispersione sperimentale apparente.

L'istante di tempo zero (segnale di inizio registrazione) viene inviato allo strumento da un geofono starter posto in prossimità del punto di energizzazione. La generazione della perturbazione sismica è avvenuta mediante mazza battente del peso di 8 Kg su piastra metallica.

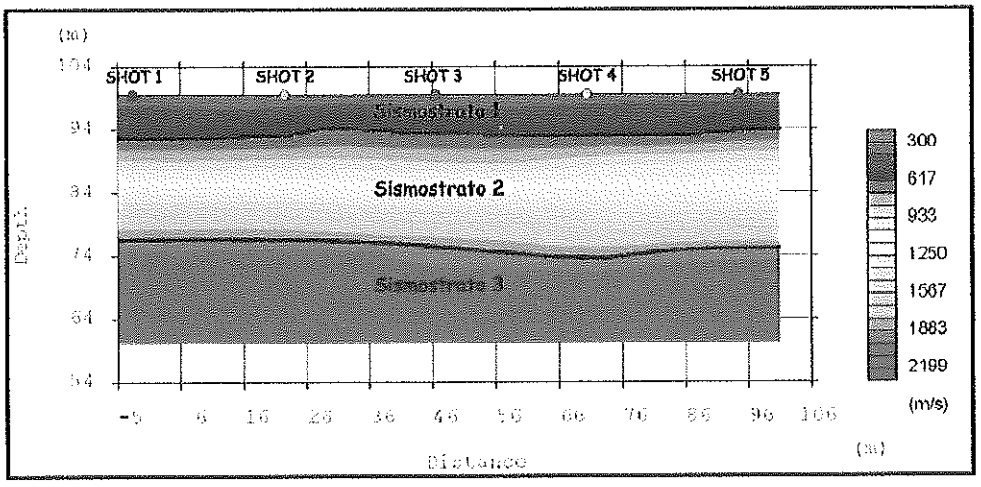
# 4 RISULTATI E CONCLUSIONI

## 4.1 Indagine sismica a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione ha evidenziato la presenza di 3 livelli distinti a diversa velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) come di seguito descritti:

1) il primo livello, caratterizzato da velocità delle onde di compressione inferiori a 600 m/sec, presenta lunga la sezione sismica eseguita spessori compresi tra 5,00÷6,50 mt circa; tale sismostrato è riferibile alla porzione più superficiale della locale successione stratigrafica (areato);
2) il secondo sismostrato, riferibile a depositi alluvionali mediamente addensati, presenta spessori compresi tra 16,00 mt e 19,00 mt circa ed è caratterizzato da velocità delle onde di compressione comprese tra 600 e 1900 m/sec circa;
3) il terzo simostrato, riferibile presumibilmente alla porzione più superficiale del locale substrato, è caratterizzato da velocità delle onde di compressione superiori a 1900 m/sec. Tale livello è stato rilevato a profondità comprese tra 22,00 e 25,00 mt circa dal p.c.;

Sezione sismostratigrafica bidimensionale (Vp)



## 4.2 Classificazione dei terreni di fondazione (Vs30)

L'esecuzione dell'indagine sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente di classificare i terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.D.L. 14/01/2008".

La metodologia MASW presenta rispetto ad altre tecniche sismiche il vantaggio di non essere limitata dalla presenza di inversioni di velocità, consentendo pertanto l'individuazione di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici. Il metodo MASW consente quindi di individuare il profilo di velocità Vs anche in presenza di contrasti di rigidezza tra gli strati del suolo. Tale prova fornisce un profilo di velocità Vs monodimensionale. La velocità di propagazione delle onde di taglio dipende dalle proprietà elastiche dei mezzi attraversati e il parametro geofisico Vs30 è quello che meglio rappresenta la condizione geotecnica media dei materiali geologici del sottosuolo dei primi 30 metri. Infatti la velocità di propagazione delle onde trasversali dipende dalle proprietà elastiche del mezzo attraversato, come si evince dalla seguente relazione:

$$Vs = \sqrt{\mu / \gamma}$$

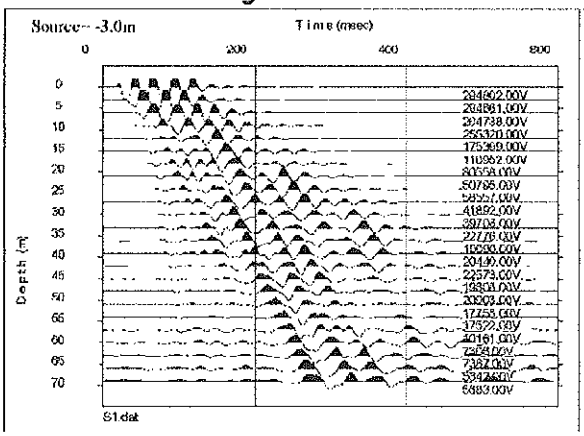
dove $\gamma$ rappresenta la densità del corpo e $\mu$ il modulo di rigidità o modulo di taglio che indica la resistenza di un corpo alle variazioni di forma. Le proprietà elastiche del mezzo sono a loro volta influenzate da numerosi fattori quali la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il grado alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, la profondità, ecc.
Con Vs30 si definisce la velocità media di propagazione nei primi 30 metri di profondità delle onde di taglio, il cui calcolo viene effettuato utilizzando la seguente espressione:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

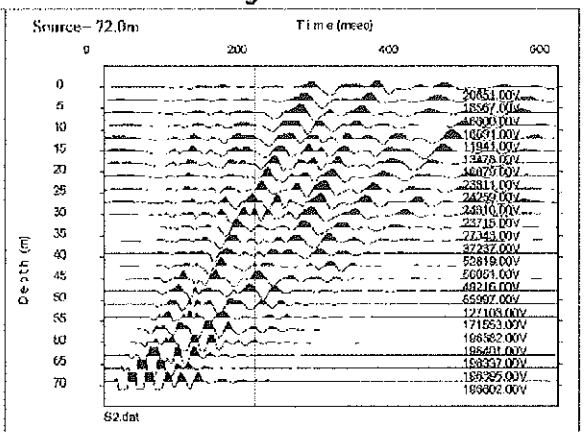
Dove $h_i$ e $V_i$ indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Le diverse fasi di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici hanno portato alla creazione dei seguenti elaborati:

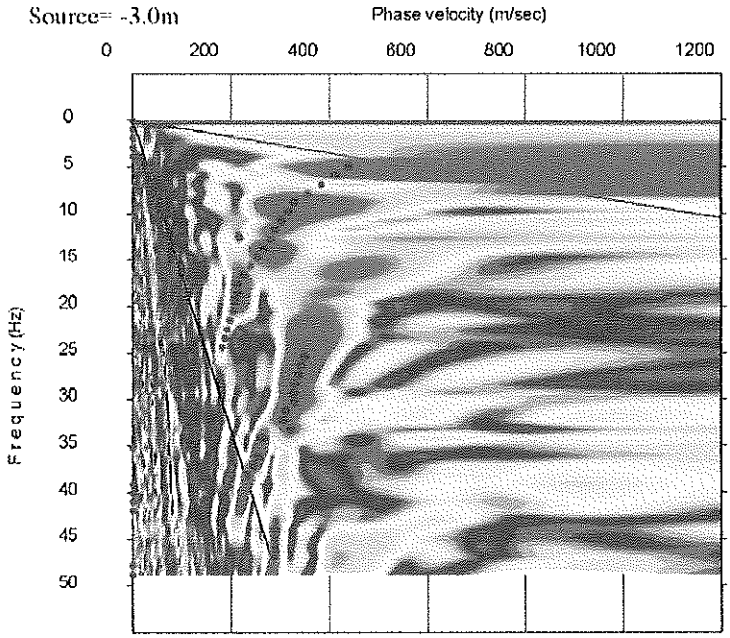
Sismogramma Shot 1



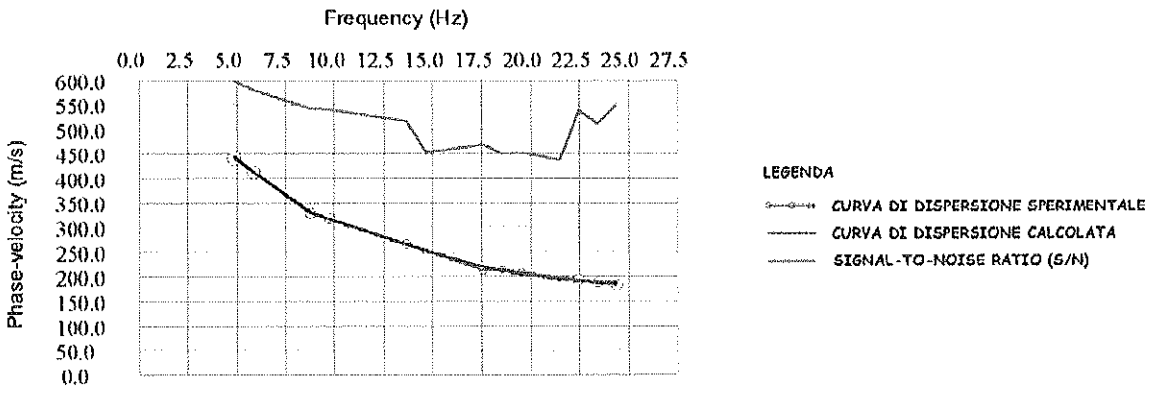

Sismogramma Shot 2




Spettro di velocità e curva di dispersione misurata - Shot 1



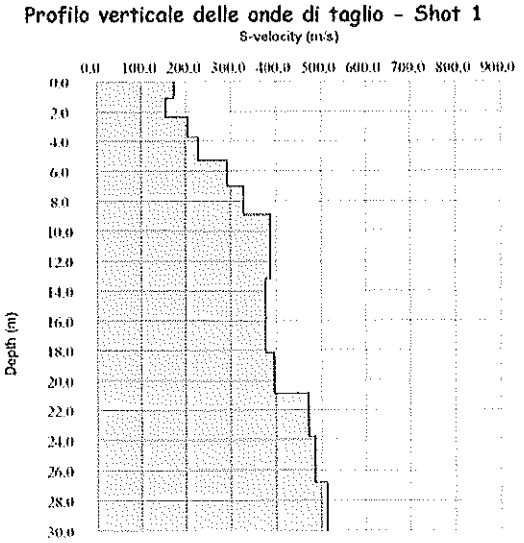
Curva di dispersione sperimentale e calcolata - Shot 1




Il profilo verticale delle onde di taglio e il valore Vs30 necessario per la classificazione dei terreni di fondazione dell'area di interesse nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 sono riassunti nella tabella di seguito riportata.

| Profondità (mt) | hi (mt) | Vi (m/s) | hi/Vi | $Vs_{30}$ (m/s) |
|---|---|---|---|---|
| 0,00 ÷ 1,07 | 1,07 | 173 | 0,0062 | |
| 1,07 ÷ 2,31 | 1,24 | 156 | 0,0079 | |
| 2,31 ÷ 3,71 | 1,40 | 205 | 0,0068 | |
| 3,71 ÷ 5,27 | 1,57 | 228 | 0,0069 | |
| 5,27 ÷ 7,01 | 1,73 | 293 | 0,0059 | $Vs_{30}$ = 337 m/s |
| 7,01 ÷ 8,90 | 1,90 | 329 | 0,0058 | |
| 8,90 ÷ 10,96 | 2,06 | 389 | 0,0053 | Categoria di sottosuolo "C" |
| 10,96 ÷ 13,19 | 2,23 | 389 | 0,0057 | |
| 13,19 ÷ 15,58 | 2,39 | 378 | 0,0063 | |
| 15,58 ÷ 18,13 | 2,55 | 378 | 0,0068 | |
| 18,13 ÷ 20,85 | 2,72 | 397 | 0,0069 | |
| 20,85 ÷ 23,74 | 2,88 | 474 | 0,0061 | |
| 23,74 ÷ 26,79 | 3,05 | 487 | 0,0063 | |
| 26,79 ÷ 30,00 | 3,21 | 514 | 0,0063 | |

ΣHi/Vi = 0,0890




Dal profilo verticale monodimensionale delle Vs sopra riportato si evince un graduale incremento della velocità di propagazione delle onde di taglio sino alla profondità di 9,00 mt circa dal p.c., oltre la quale la velocità si mantiene pressoché costante sino a 21,00 mt circa dal p.c., per assumere poi i valori caratteristici del locale substrato.

Sassoferrato, 15 dicembre 2009

I Responsabili della prova

ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE
Antonello DONNINI
Geologo Specialista
N. 713
ALBO SEZIONE A

ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE
Fabrizio MANTONI
Geologo Specialista
N. 714
ALBO SEZIONE A