

M268



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali
Concessione Ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Rapporto di Prova n°631/10/S

SETTORE: Geofisica – Multichannel Acquisition of Surface Waves
COMMITTENTE:
D. L.: Geol. L. Pignattai
CANTIERE: loc. Luiano
RIFERIMENTO: R.P.E. n°726/10

Indice:

- 1 Scopo del lavoro
- 2 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)
 - 2.1 Principi teorici
 - 2.2 Acquisizione ed elaborazione
- 3 Presentazione dei dati
- 4 Normativa sismica e calcolo del Vs30
- 5 Risultati dell'elaborazione
- 6 Caratteristiche della strumentazione

Il Direttore del Laboratorio
Ing. F. Politi

Il Tecnico
Geol. A. Farolfi

IGETECMA s.a.s. - Via Delle Pratella 18/20 - 50056 - Montelupo F.no (FI)
Tel. 05711738160 - Fax 0557320415
Iscr. Trib. Fi 69963 - CCIAA Fi 462056 - P.I. e C.F. 04576560488 - www.igetecma.it

LABORATORIO ASSOCIATO A.L.G.I.

1 Scopo del lavoro

Su incarico del Geol. F. Di Nasso, è stata eseguita una indagine *Multichannel Acquisition of Surface Waves* (MASW) finalizzata al calcolo del parametro Vs30, in località Luiano, San Casciano (FI).

2 MASW (Multichannel Analysis of surface waves)

2.1 Principi teorici

La tecnica MASW si basa sulla registrazione e lo studio della curva di dispersione delle onde superficiali, il cui contributo predominante è caratterizzato dalle onde di Rayleigh che sono onde di superficie che si producono per riflessione di onde S (di taglio) alla superficie. Se il mezzo è omogeneo hanno velocità di fase pari al 92% di quella delle onde S che le hanno generate, altrimenti sono dispersive. I punti investiti da un'onda di Rayleigh si muovono descrivendo ellissi in modo retrogrado rispetto al moto dell'onda. L'ampiezza delle ellissi diminuisce con la distanza dalla superficie ovvero con la profondità. Partendo dall'assunzione di una variazione della velocità delle onde sismiche con la profondità (terreno stratificato orizzontalmente) il terreno, agendo da filtro, separa le varie componenti dell'onda di volume caratterizzate ciascuna da diversa velocità di propagazione (velocità di fase) e da diversa lunghezza d'onda. Tale comportamento delle onde si chiama dispersione e proprio sull'analisi della curva di dispersione delle onde di Rayleigh si basa la tecnica MASW per ottenere il profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) con la profondità. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizza le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione delle onde superficiali. Nella tecnica d'indagine MASW la profondità di investigazione è, in linea teorica, correlata alla lunghezza del profilo e inversamente correlata alla frequenza propria dei sensori usati, mentre la risoluzione verticale, è direttamente correlata al numero di sensori utilizzati per registrare il campo d'onda sismico. Il limite principale del metodo è l'assunzione che siano minime le variazioni orizzontali dei parametri geofisici al di sotto dei sensori. Il maggior pregio è nella possibilità di ottenere buoni dati anche in condizioni in cui risulta difficile l'acquisizione diretta delle onde di taglio.

2.2 Acquisizione ed elaborazione

L'acquisizione dei dati è stata effettuata con un allineamento di 24 geofoni verticali con spaziatura di 2 m, per totali 46 m. Sono state utilizzate 4 registrazioni con offset (distanza fra il punto di scoppio ed il geofono più vicino) compreso tra 0 m e 20 m, eseguite da entrambi i lati della sezione

Le energizzazioni, per ogni postazione, sono state ripetute e sommate fino ad ottenere un sismogramma con un buon rapporto segnale rumore

La fase di elaborazione consiste nell'ottenere la curva di dispersione relativa ad ogni registrazione, ovvero la trasformazione delle serie temporali nel dominio della frequenza F e del numero d'onda K . Sullo spettro Frequenza (Hz) - Velocità di Fase (m/s) vengono individuati i punti di massimo spettrale di energia che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh.

La velocità delle onde S viene stimata su un modello di strati del terreno che viene implementato con un processo iterativo fino a trovare la combinazione finale di velocità delle onde di taglio e spessori degli strati, tale da minimizzare gli scarti fra la curva di dispersione calcolata sul modello e quella misurata sullo spettro della dispersione delle onde superficiali. Essendo questo tipo di elaborazione un procedimento inverso, esso risente di tutti i problemi e delle limitazioni dovute alla convergenza dei metodi iterativi ed alla non unicità delle soluzioni.

| Materiale | V P m/sec | V SH m/sec | |
|------------------------------------|-------------|------------------|------------------|
| | | VP/VSH 1.9 - 3.5 | VP/VSH 1.9 - 3.5 |
| Detrito superficiale alterato | 300 - 600 | 86 - 158 | 171 - 316 |
| Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta | 500 - 900 | 143 - 263 | 257 - 474 |
| Sabbia bagnata | 600 - 1800 | 171 - 316 | 514 - 947 |
| Argilla | 900 - 2700 | 257 - 474 | 771 - 1421 |
| Acqua | 1430 - 1680 | - | - |
| Arenaria | 1800 - 4000 | 514 - 947 | 1143 - 2105 |
| Scisti argillosi | 2500 - 4200 | 714 - 1316 | 1200 - 2211 |
| Calcere | 2000 - 6000 | 571 - 1053 | 1714 - 3158 |
| Sale | 4200 - 5200 | 1200 - 2211 | 1486 - 2737 |
| Granito | 4000 - 6000 | 1143 - 2105 | 1714 - 3158 |
| Rocce metamorfiche | 3000 - 7000 | 857 - 1579 | 2000 - 3684 |

Tabella I - Velocità dei principali materiali.

3 Presentazione dei dati

Nella presente relazione vengono forniti i seguenti elaborati:

- profilo medio di velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità

- profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità per ciascuna registrazione eseguita
- curve di dispersione F-k per ciascuna registrazione eseguita
- registrazioni di campagna

4 Normativa sismica e calcolo del parametro V_{s30}

L'Ordinanza P.C.M. n°3274/03 istituisce diverse categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Tali categorie vengono definite in base al calcolo del parametro V_{s30} che è dato da:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

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

| Categorie di Suolo di Fondazione | V_s 30 m/s | $N_{spt} - C_u$ |
|--|-----------------------|---|
| A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m. | $V_{s30} > 800$ | |
| B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine) | $360 < V_{s30} < 800$ | $N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa |
| C Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina) | $180 < V_{s30} < 360$ | $15 < N_{spt} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa |
| D Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/sec (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina) | $V_{s30} < 180$ | $N_{spt} < 15$ $C_u < 70$ kPa |
| E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento con $V_s > 800$ m/sec. | $V_{s30} < 360$ | |

| | | |
|--|--------------------------------------|---|
| <p>S1 Depositi costituiti da Vs30 inferiori a 100m/s (ovvero $10 < c_u < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche</p> | <p>$V_{s30} < 100$</p> | <p>$10 < C_u < 20$ kPa</p> |
| <p>S2 Depositi di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.</p> | | |

Tabella II – Categorie di suolo di fondazione

5 Risultati dell'elaborazione

Le curve di dispersione ricavate dalle registrazioni sono state elaborate separatamente e i profili verticali di velocità delle onde di taglio derivanti sono stati mediati fra loro per ottenere la curva che descrive l'andamento della Velocità delle onde S con la profondità: questo procedimento è stato effettuato per minimizzare gli errori dovuti a possibili variazioni laterali lungo il profilo.

Il valore di Vs30 calcolato per questo sito è 589 m/s. Per i contrasti di velocità e di rapporti stratigrafici presenti, la zona in esame rientra nella categoria B dei terreni di fondazione.

Resta da ricordare che i calcoli sono stati effettuati dal piano campagna e che un'eventuale asportazione dei materiali superficiali tenderebbe ad aumentare il valore del parametro Vs30, diminuendo lo spessore dei terreni a bassa velocità.

6 Caratteristiche della strumentazione

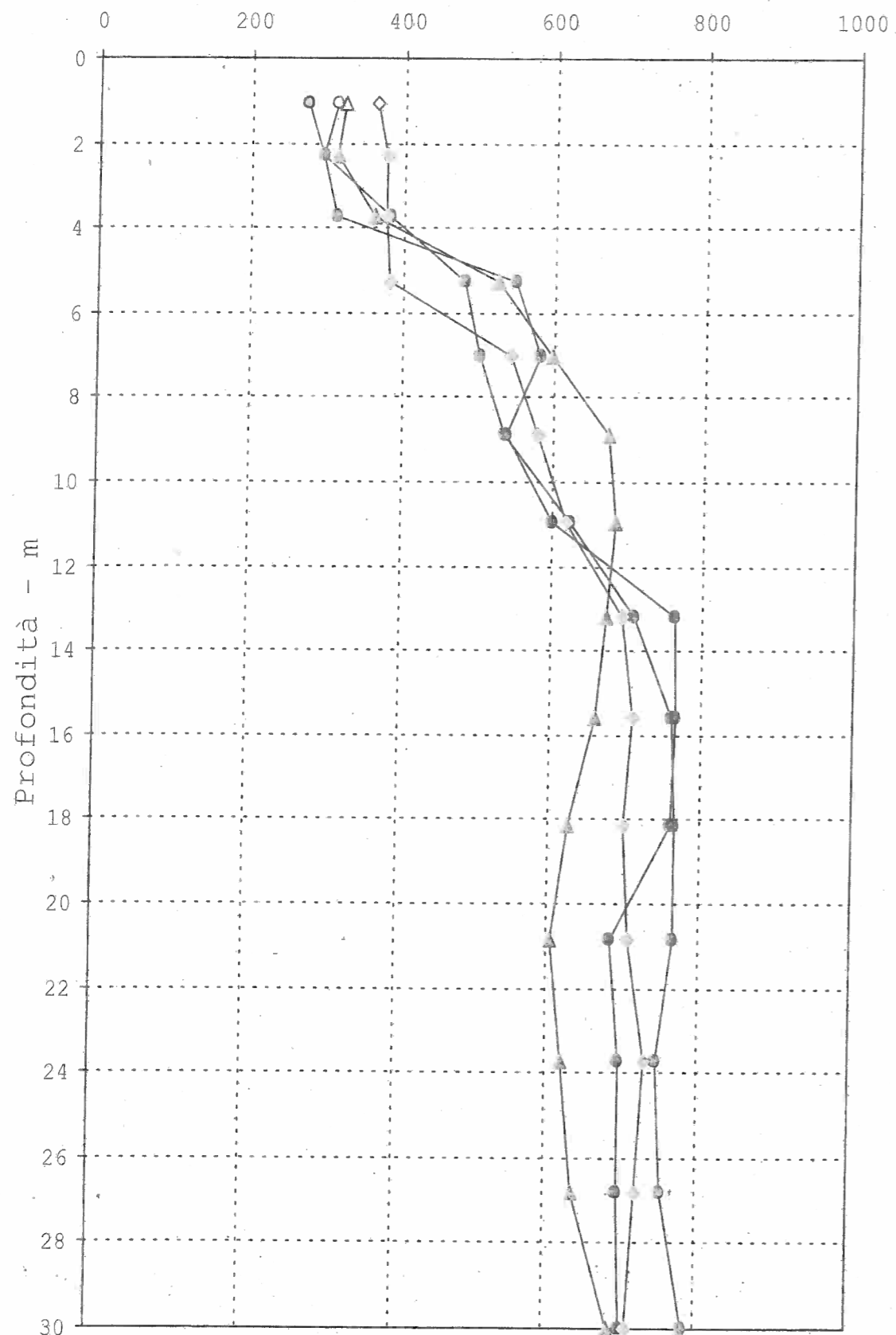
Il sistema di acquisizione usato nella presente campagna d'indagini è composto da un sistema modulare della Geometrics così configurato:

Sismografo GEODE 48 canali (2 moduli a 24 canali) con Controller Stratavisor NZC:

- risoluzione segnale A/D 24 bit;
- escursione dinamica 144 dB, 110 dB istantanea a 2 ms;
- passo di campionamento da 0.02 a 16 ms indipendente dal tempo d'acquisizione;
- fino a 64.000 campioni per traccia;
- distorsione 0.0005% a 2ms, 1.75 – 208 Hz;
- amplificazione del segnale da 0 a 36 dB;
- filtri anti-aliasing a 90 dB della frequenza di Nyquist;
- filtri digitali low-cut, high-cut, notch;
- precisione trigger in sommatoria 1/32 del passo di campionamento;

- pre-trigger fino a 4096 campioni, delay sino a 1.000 ms;
 - salvataggio dati in formato SEG-2 su hard-disk incorporato;
 - 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz;
 - sistema di starter (trigger) mediante accelerometro;
 - energizzazione mediante mazza da 5 Kg, minibang calibro 8, grave da 30/60 kg.
-
-

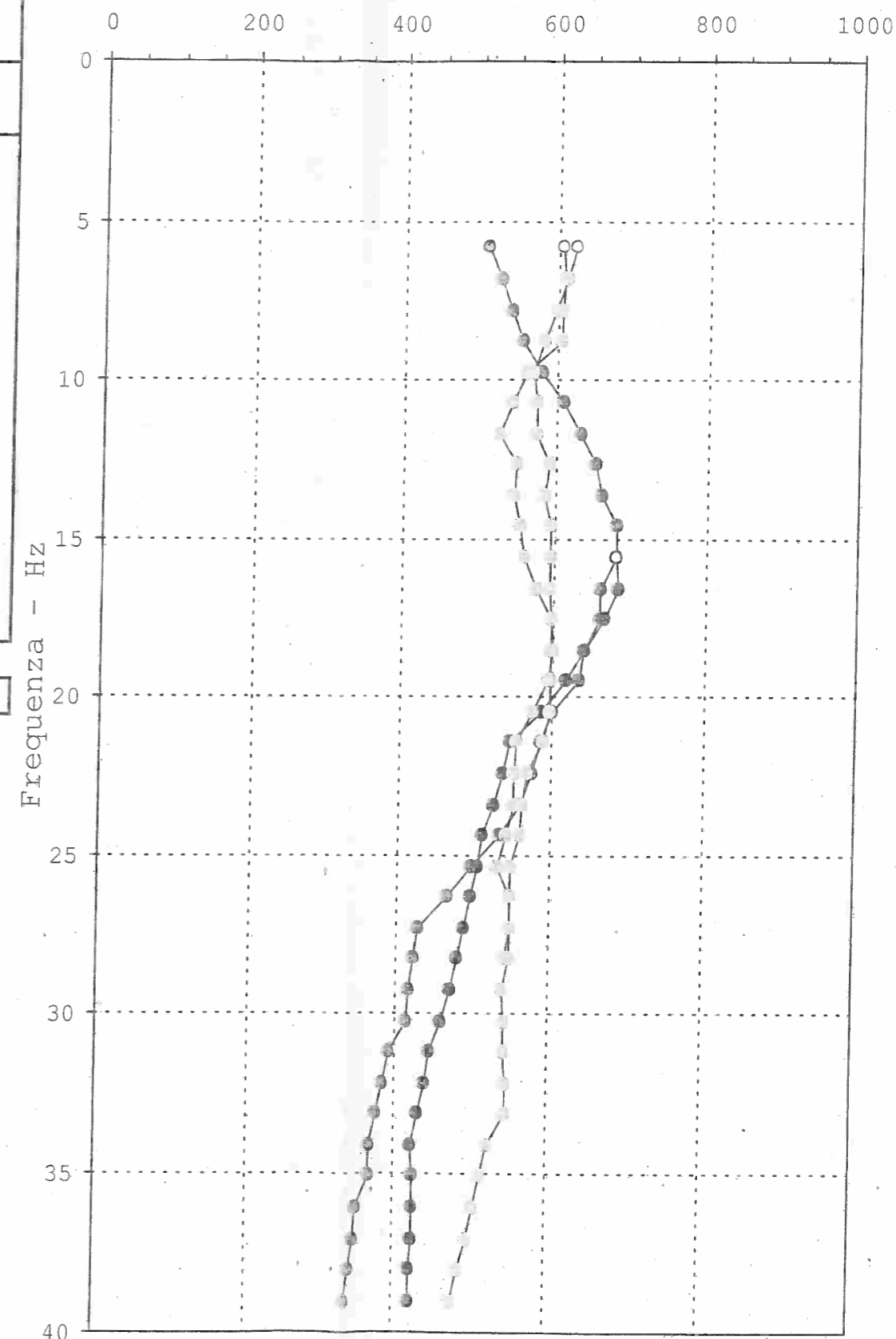
Velocità onde S - m/s

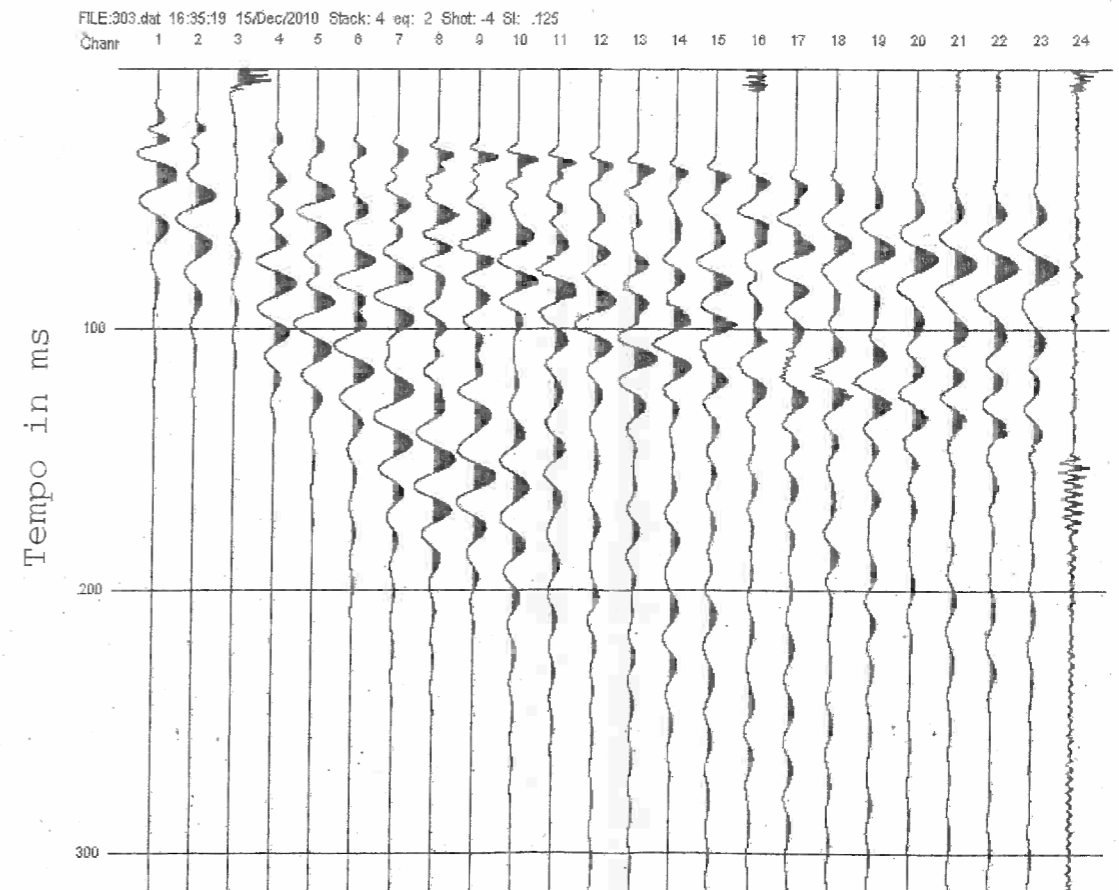
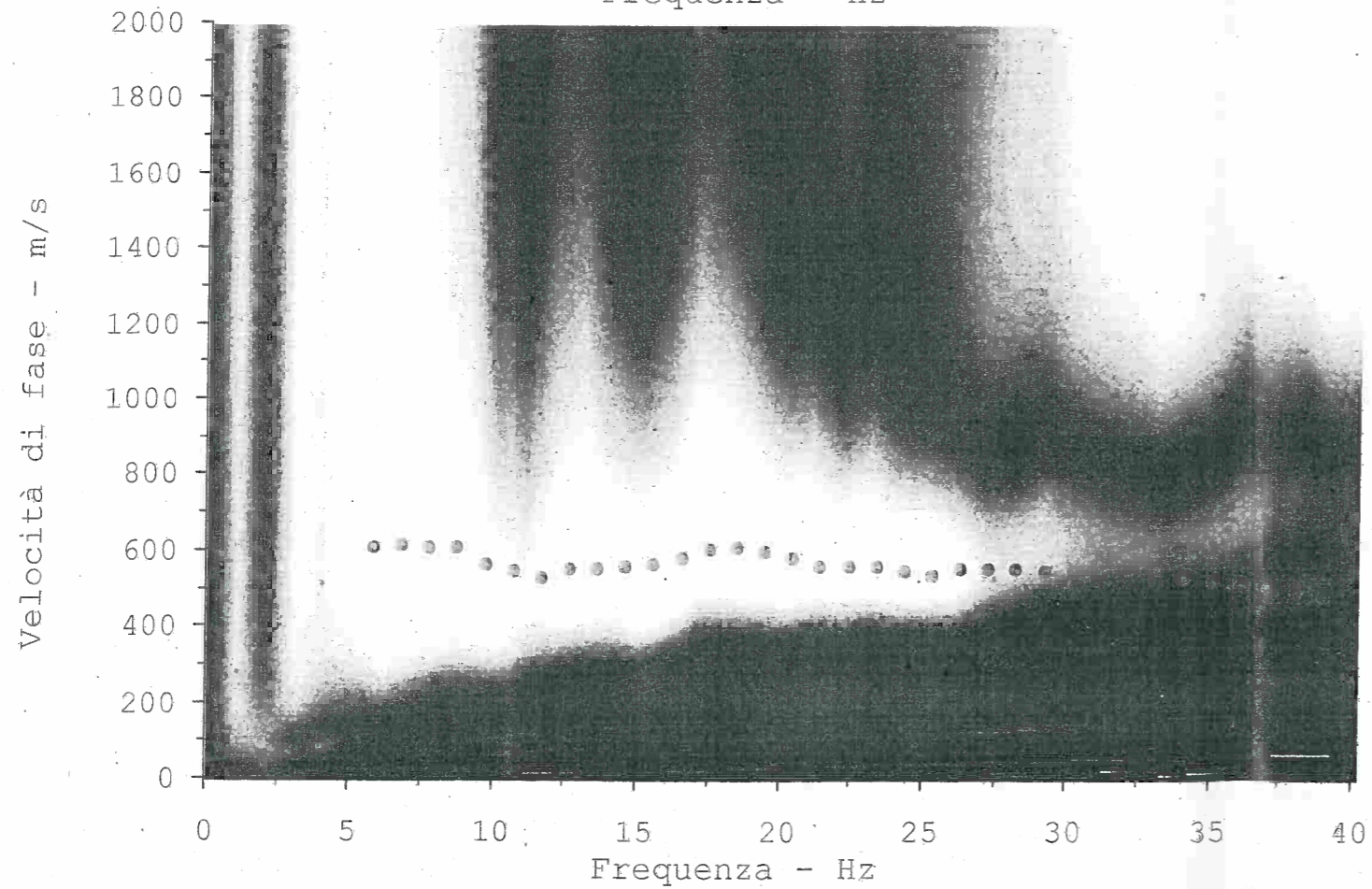
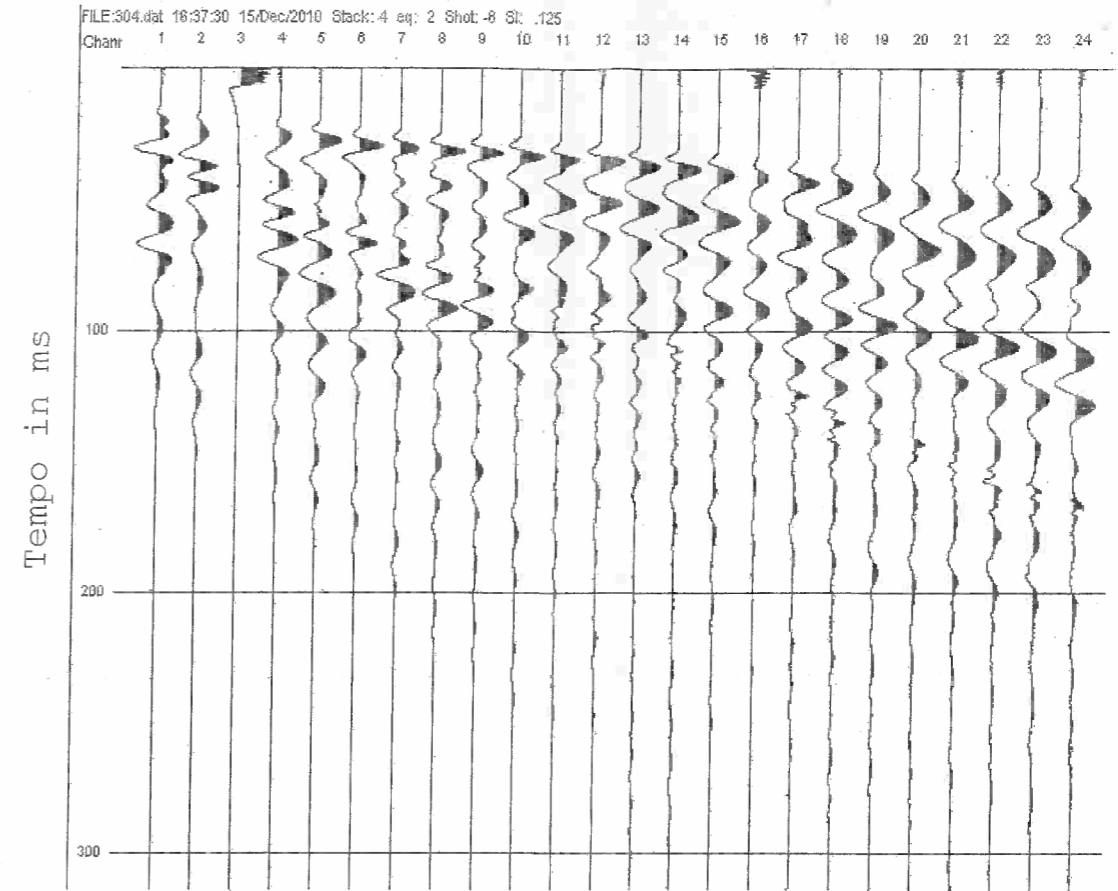
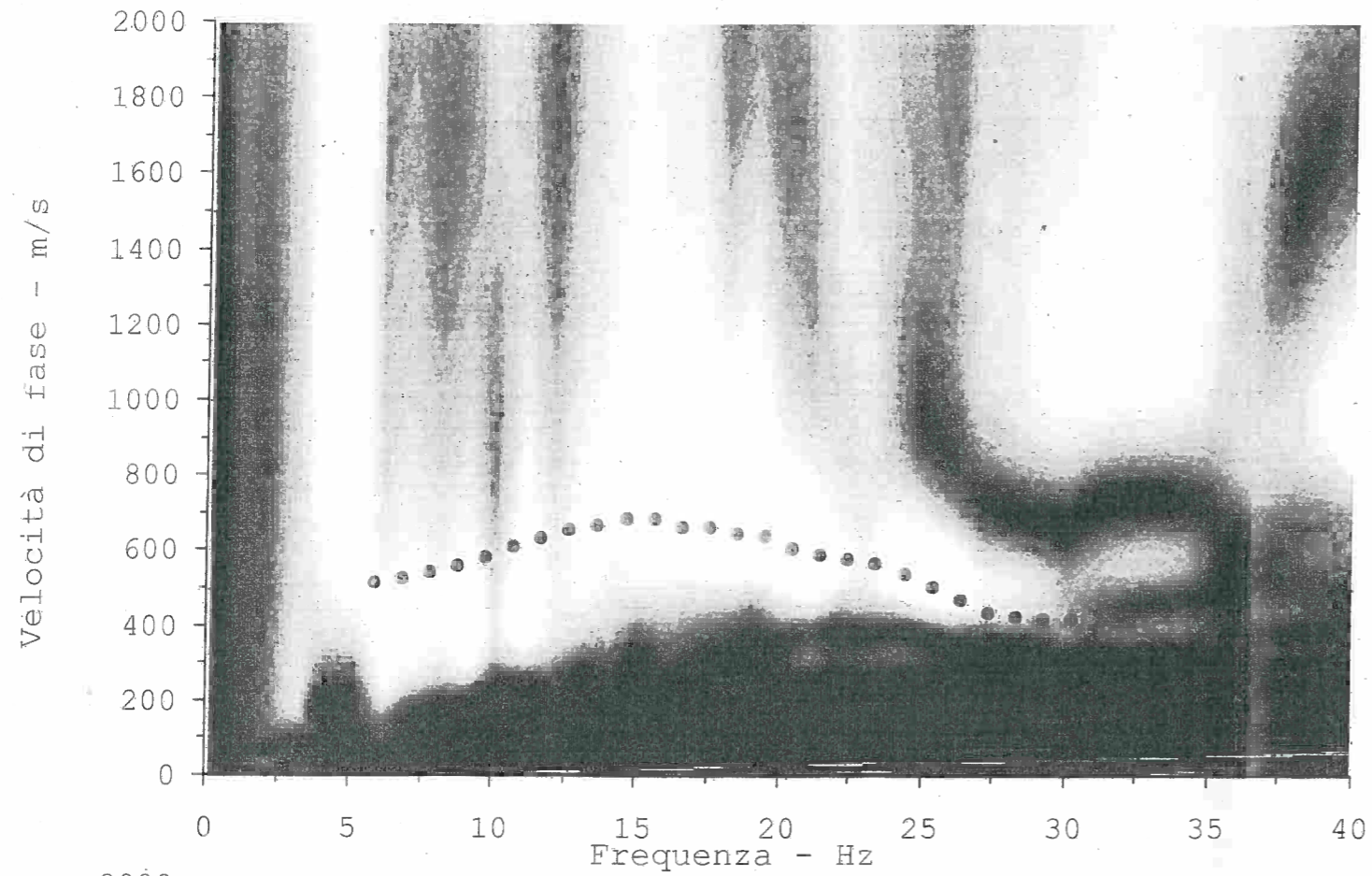


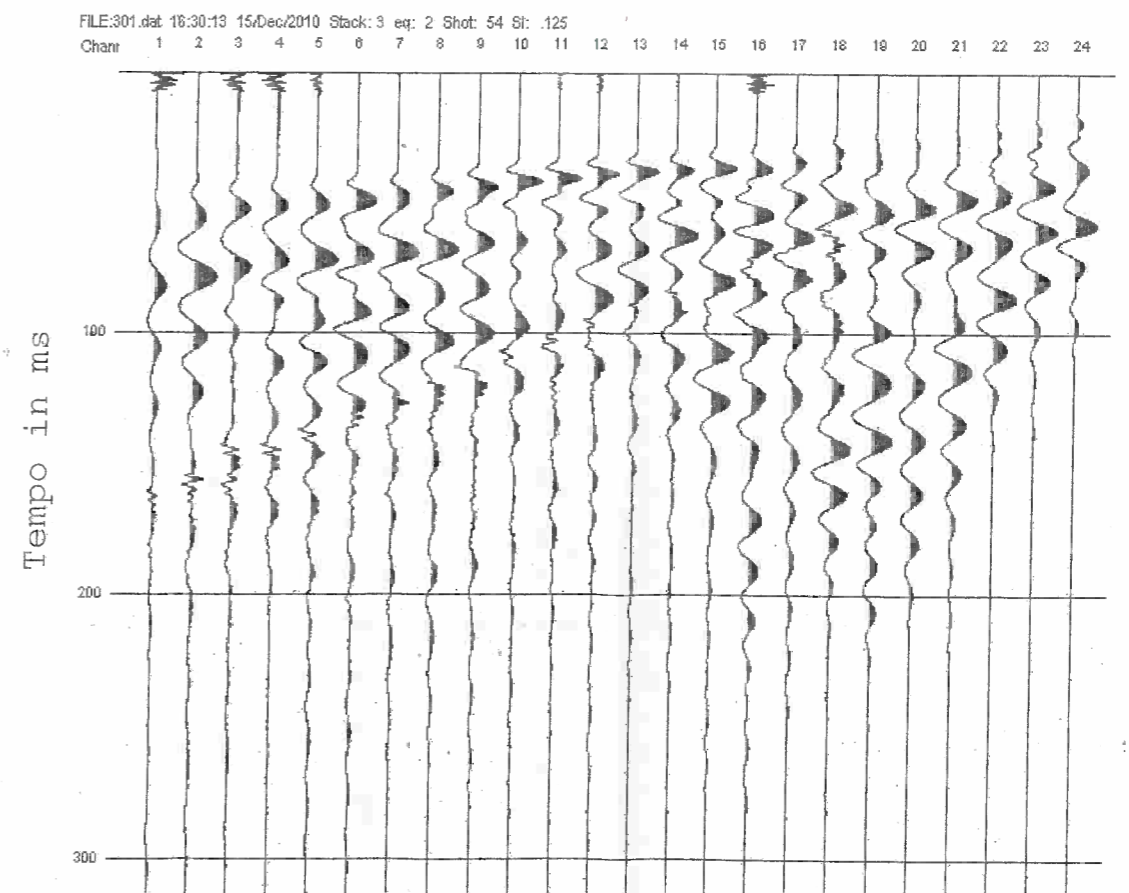
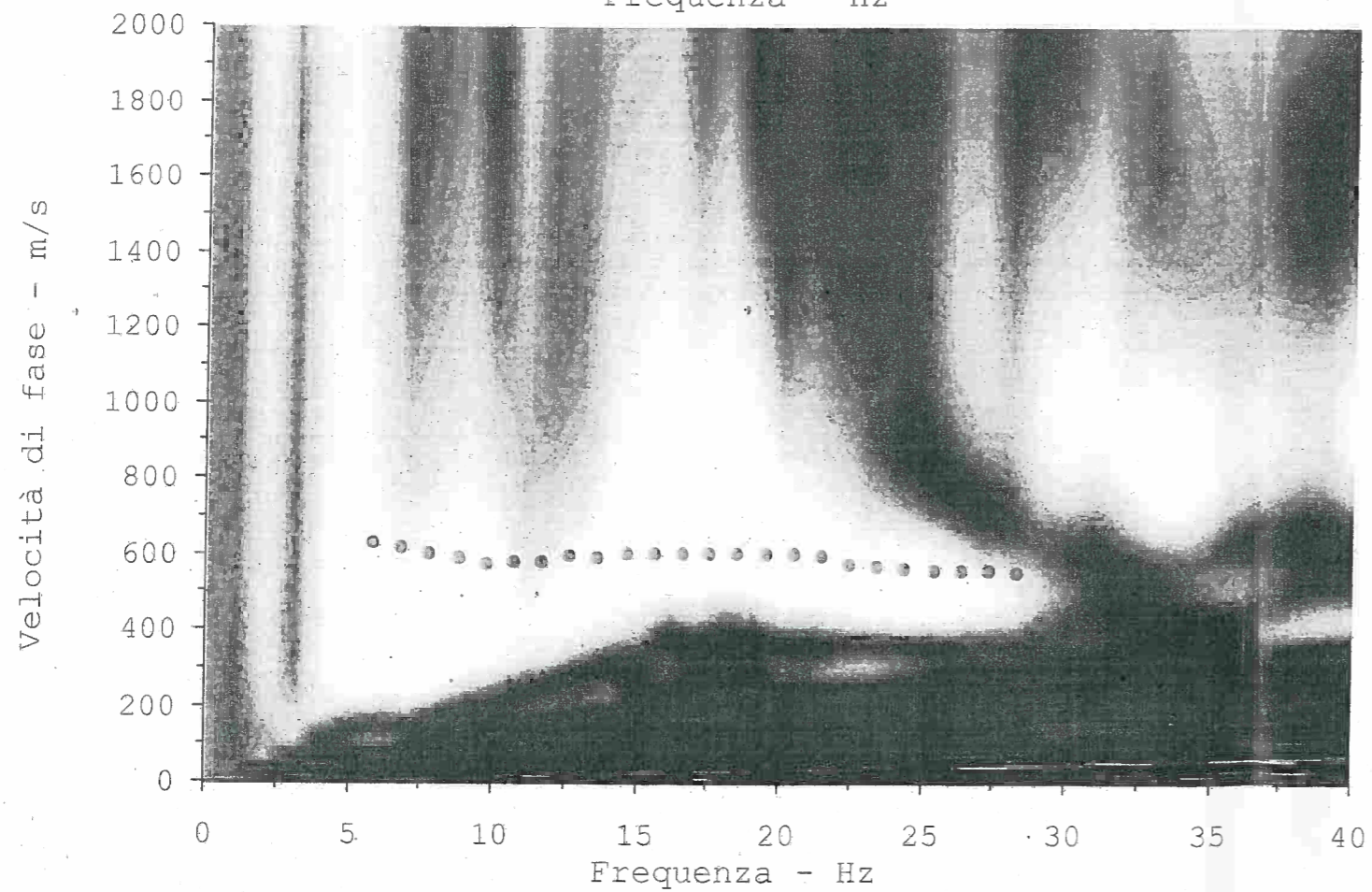
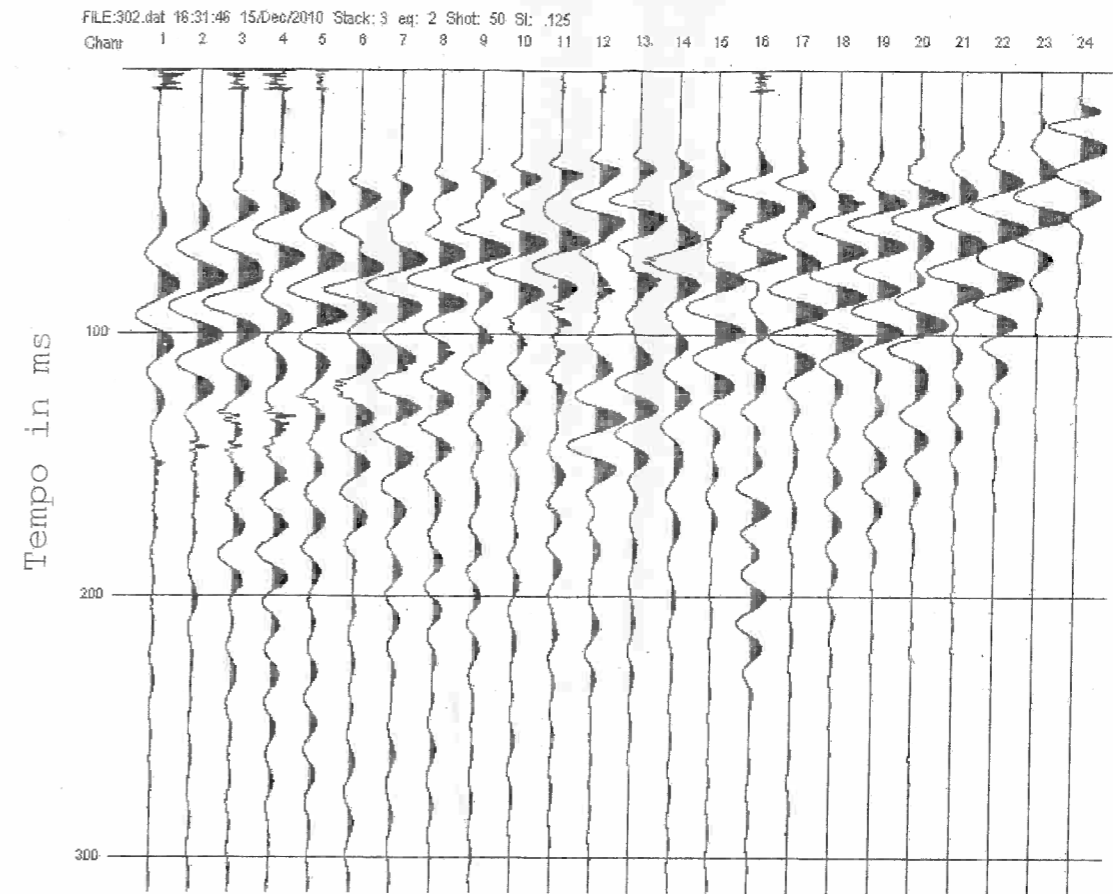
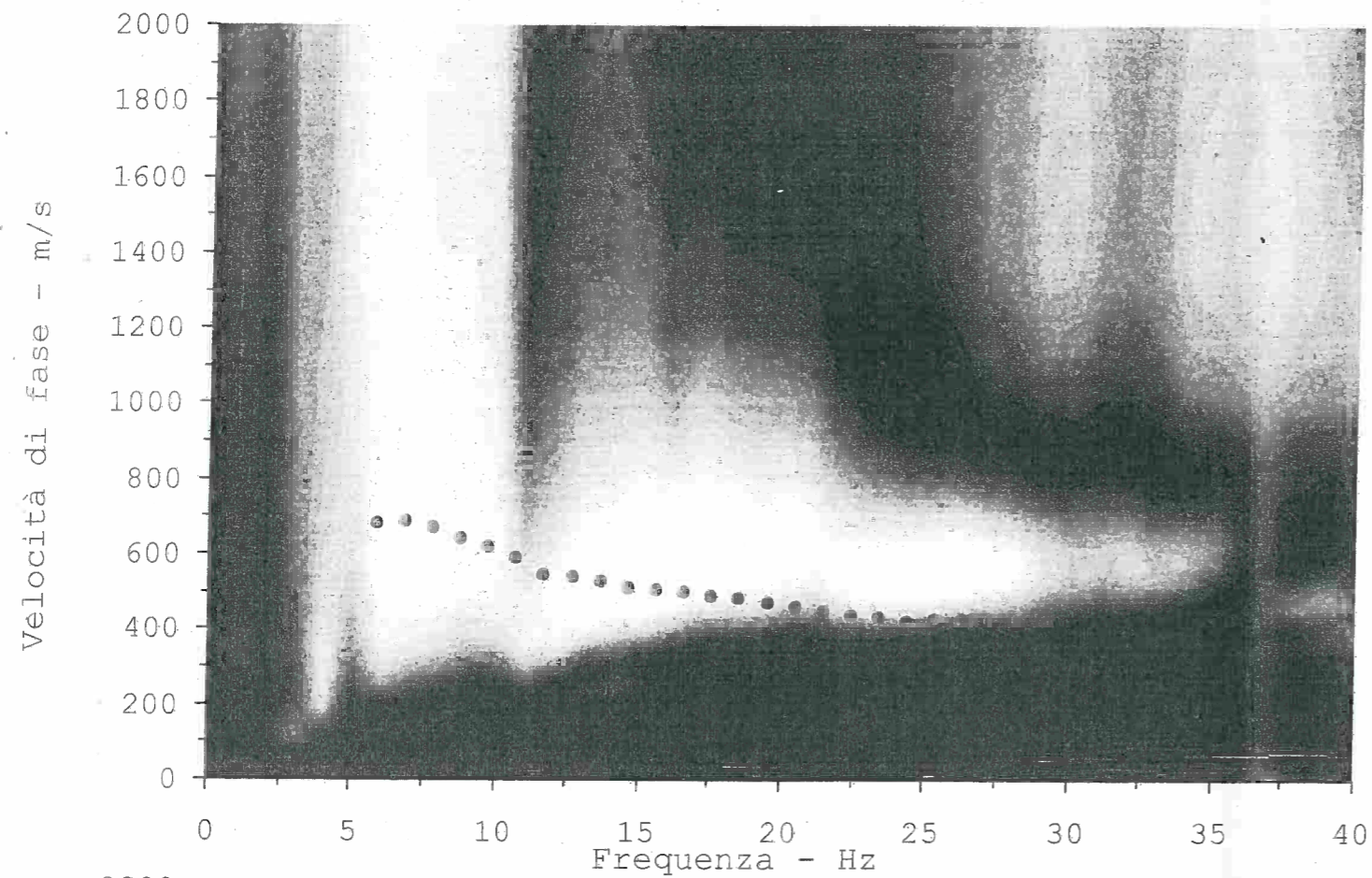
| File | 301 | 302 | 303 | 304 |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| Shot m | 54 | 50 | -4 | -8 |
| Z | VS | VS | VS | VS |
| m | m/s | m/s | m/s | m/s |
| 1.07 | 312 | 272 | 322 | 364 |
| 2.31 | 293 | 293 | 312 | 377 |
| 3.71 | 312 | 382 | 361 | 377 |
| 5.27 | 549 | 481 | 526 | 382 |
| 7.01 | 582 | 500 | 597 | 542 |
| 8.90 | 536 | 535 | 674 | 579 |
| 10.96 | 599 | 623 | 682 | 619 |
| 13.19 | 764 | 709 | 673 | 693 |
| 15.58 | 766 | 761 | 659 | 709 |
| 18.13 | 761 | 766 | 626 | 699 |
| 20.85 | 684 | 766 | 605 | 706 |
| 23.74 | 696 | 745 | 622 | 730 |
| 26.79 | 696 | 752 | 635 | 720 |
| 30.00 | 702 | 786 | 686 | 709 |

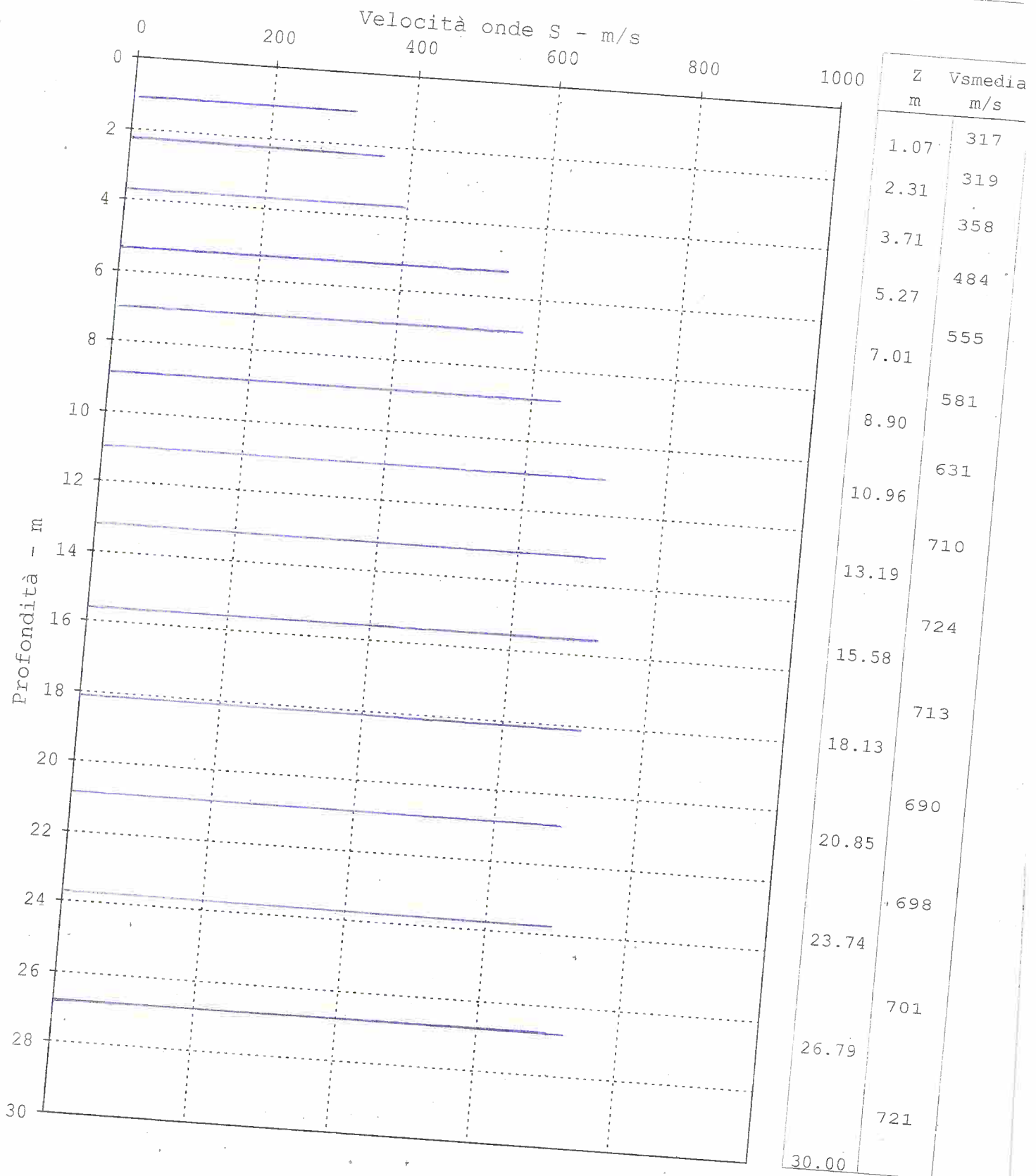
| | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|
| Vs30 | 584 | 593 | 571 | 592 |
|------|-----|-----|-----|-----|

Curve di dispersione









Vs30 = 589 m/s - Categoria B