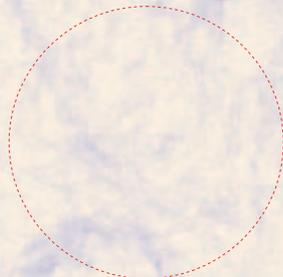


**INDAGINE GEOLOGICA CON VALUTAZIONI
SISMICHE IDROGEOLOGICHE E GEOTECNICHE
PRELIMINARI INERENTE IL PROGETTO DI
AMPLIAMENTO DELLA SCUOLA MATERNA DI
PESCIAMORTA**

**INDAGINI GEOFISICHE E ANALISI
DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

Committente

COMUNE DI PESCIA



Relatore : Dr. Franco Menetti

INDICE

| | |
|---|---------|
| 1. PREMESSA | pag. 2 |
| 2. DEFINIZIONE DEL MODELLO | pag. 2 |
| 3. GEOMETRIA E PROPRIETA' MECCANICHE DEI DEPOSITI | pag. 3 |
| 4. INPUT SISMICO E DEFINIZIONE DELLO SPETTRO ELASTICO | pag. 6 |
| 5. RISULTATI DELLE ANALISI | pag. 7 |
| 5.1 SET ACCELEROGRAMMI SLV | pag. 7 |
| 5.2 SPETTRO ELASTICO SLV | pag. 11 |
| 6. CONCLUSIONI | pag. 12 |

1. PREMESSA

La presente relazione sismica è stata redatta a seguito dell'indagine geologica e sismica svolta per l'ampliamento della scuola materna di Pesciamorta in Comune di Pescia.

L'indagine è stata svolta allo scopo di valutare la risposta sismica locale (RSL) ovvero definire tutte quelle modifiche, in termini di ampiezza, durata e contenuto in frequenza, che un segnale in arrivo alla base di un deposito subisce nel suo attraversamento, fino a raggiungere la superficie. In tal senso quindi si utilizzano modelli applicabili in campo libero (free-field), ovvero si assume l'assenza di ogni tipo di struttura.

In una fase successiva lo spettro elastico risultante dalla RSL verrà trasformato dal Progettista in spettro di progetto tramite il fattore di struttura "q". In funzione del valore di T1 (s), periodo fondamentale della struttura, sarà così possibile individuare i valori di Kh e Kv per il calcolo delle azioni e la seguente verifica delle sicurezza e delle prestazioni.

Per la definizione della sismostratigrafia si fa riferimento a quanto determinato tramite indagine geofisica con analisi MASW svolta durante la campagna di indagini riportata nella relazione geologica generale, e alle indagini per il R.U. di Chiesina Uzzanese che hanno identificato la profondità del bedrock che nel nostro caso è costituito dalle argille lacustri villafranchiane.

2. DEFINIZIONE DEL MODELLO

Per la definizione della Risposta Sismica Locale viene utilizzato un modello lineare monodimensionali (1-D), basato su una serie di ipotesi e di semplificazioni introdotte nella caratterizzazione geometrica e meccanica del deposito e nelle leggi di propagazione delle onde sismiche e di comportamento dei terreni.

Le ipotesi geometriche riguardano il bedrock, che deve essere orizzontale e indefinitamente esteso e il deposito soprastante, che deve essere omogeneo o al più stratificato orizzontalmente, ed a comportamento viscoelastico lineare.

Le ipotesi riguardanti la sollecitazione sismica prendono a riferimento onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale incidenti il bedrock con direzione di propagazione verticale.

Per valutare la risposta in superficie di un dato input sismico applicato alla base viene utilizzata una funzione di trasferimento F ; questa funzione complessa, definita nel dominio della frequenza, è caratteristica delle geometria e delle proprietà meccaniche del deposito che moltiplicata per la trasformata di Fourier dell'input sismico fornisce la trasformata di Fourier del moto sismico in superficie, sfruttando il principio di sovrapposizione degli effetti, valido ovviamente solo in un dominio di comportamento lineare.

L'analogo nel dominio del tempo si ottiene facendone l'antitrasformata (Inverse Fast Fourier Transform).

La determinazione del modello avviene tramite:

- Geometria e proprietà meccaniche dei depositi (vedi paragrafo 3)
- Input sismico (vedi paragrafo 4)

Questi dati vengono poi elaborati tramite il software STRATA (Albert R. Kottke, Xiaoyue Wang, Ellen M. Rathje; aggiornamento del 23/04/2013), che si sviluppa su concetti ben noti di analisi lineare equivalente della risposta di sito.

3. GEOMETRIA E PROPRIETA' MECCANICHE DEI DEPOSITI

Per la definizione della geometria dei depositi sovrastanti il bedrock sismico è stata svolta, come già detto nella premessa,

una campagna indagini mediante una prospezione sismica con analisi MASW, ubicato come indicato nella seguente figura 1.

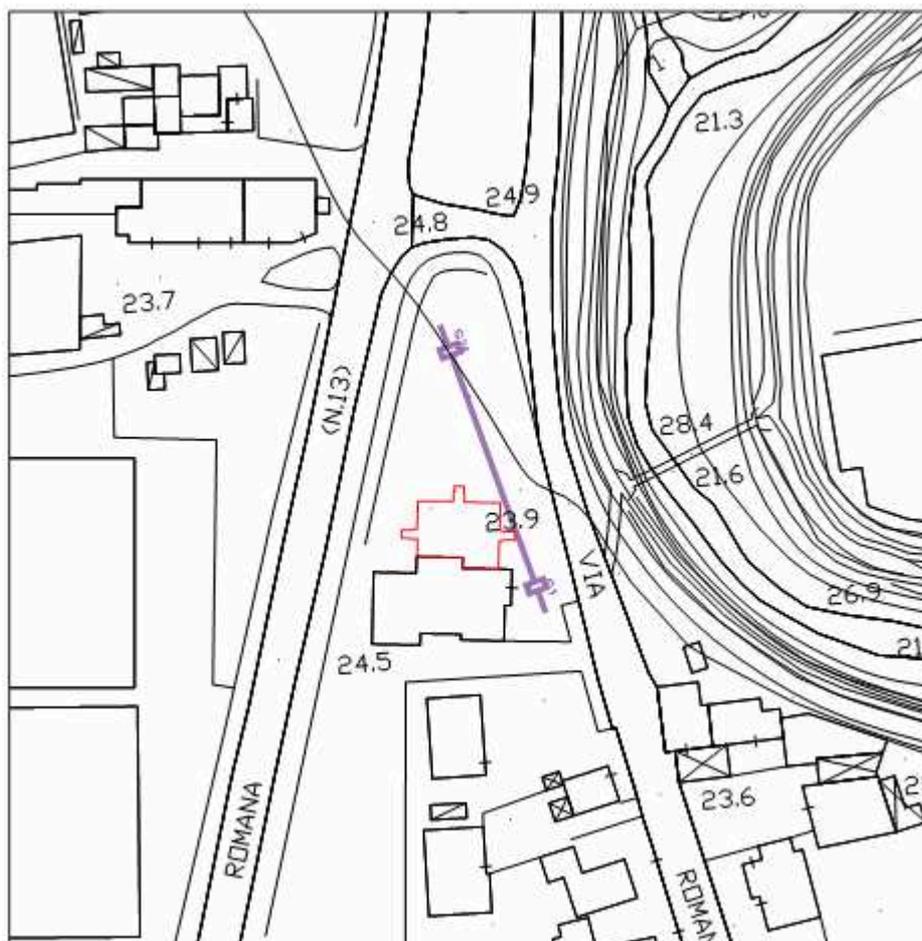


Figura 1 – Ubicazione delle indagini

Di seguito viene sintetizzata la sismostratigrafia e i relativi parametri necessari per la RSL.

In dettaglio sono forniti: lo spessore del sismostrato, il peso di volume, la velocità media delle onde S e il tipo di suolo richiesto dal software STRATA; quest'ultimo definisce, in funzione della natura del terreno, la curva di decadimento G/G_0 necessaria

per stabilire di quanto si deforma il segnale sismico (1- clay, 2- sand, 3- rock; Idriss 1990).

| Stratigrafia | | | | |
|---------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| Sismostrato | Spessore (in m) | γ (in kN/m³) | Vs (in m/s²) | Tipo di suolo |
| A | 6 | 18,63 | 174 | 2 |
| B | 9 | 19,12 | 215 | 1 |
| C | 15 | 19,61 | 290 | 1 |
| D | 1 | 19,61 | 329 | 1 |
| E | - | 19,61 | 600 | 3 |

Tabella 1

Si precisa che non si ha conoscenza della profondità del bedrock sismico con $V_s \geq 800$ m/s. Da indagini profonde svolte nell'area del padule di Fucecchio è nota la presenza di depositi Villafranchiani lacustri fino a profondità nell'ordine di alcune centinaia di metri.

Le informazioni derivate dalla campagna di indagini di misura del microtremore sismico ambientale HVSR mediante tomografo Tromino svolte per conto del Comune di Chiesina Uzzanese nell'ambito degli studi per il Regolamento Urbanistico, ed ubicate subito a sud dell'area di interesse, indicano un picco, ovvero una possibile amplificazione al passaggio tra depositi alluvionali attuali e recenti con velocità $V_s \leq 300$ m/s, e depositi villafranchiani con $V_s \cong 600$ m/s, a profondità comprese tra 30 e 50 m.

Tale situazione è sicuramente valida anche per il sito in esame, spostato di poco a monte dell'area di misurazione. Si giustifica così l'inserimento dell'ultimo sismostrato con velocità inferiore a quanto richiesto dalla normativa, ma che rappresenta il vero bedrock sismico di un ampio intorno della zona studiata, ad

una profondità cautelativa di 31 m, ovvero immediatamente al di sotto dei dati di velocità forniti dall'indagine MASW.

4. INPUT SISMICO E DEFINIZIONE DELLO SPETTRO ELASTICO

Per la definizione dell'input sismico è stato utilizzato il software SCALCONA 2.0 (scaricabile dal sito della Regione Toscana dedicato alla valutazione della Risposta Sismica Locale), che consente di ottenere un set di 7 accelerogrammi naturali registrati su roccia e soddisfacenti al requisito della spettrocompatibilità con lo spettro di risposta di normativa (NTC2008) per un qualsiasi sito ricadente all'interno del territorio toscano, per i periodi di ritorno di 50 anni, 75 anni, 101 anni, 475 anni, 712 anni e 949 anni.

Sulla base delle seguenti informazioni sono stati determinati i 7 accelerogrammi utili alla definizione dello spettro elastico finale nello stato limite SLV (trattandosi di uno studio basato su ipotesi di lavoro è stato omesso lo stato limite SLD).

- vita nominale 50 anni
- classe d'uso III
- coefficiente d'uso $C_U = 1.50$
- periodo di riferimento per l'azione sismica $T_R = 712$ anni per SLV.

Si procede quindi alla rielaborazione dei 7 accelerogrammi attraverso il software STRATA inserendo i soil types, il soil profile, così come definiti nei paragrafi precedenti, e i motions.

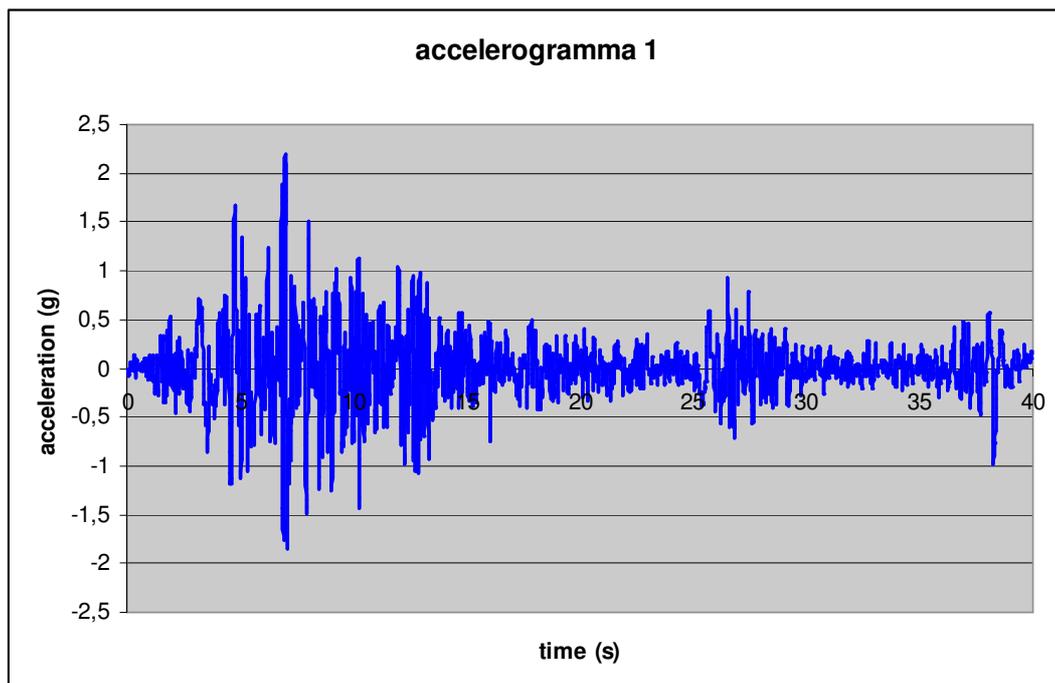
In particolare gli accelerogrammi inseriti (motions) vengono scalati (Scale Factor) in base all'accelerazione massima attesa per il sito in esame (PGA), ottenendo quindi un corrispondente valore del picco di velocità (PGV). Il valore di accelerazione massima attesa per l'area in esame è $a_g = 0,153g$ per SLV.

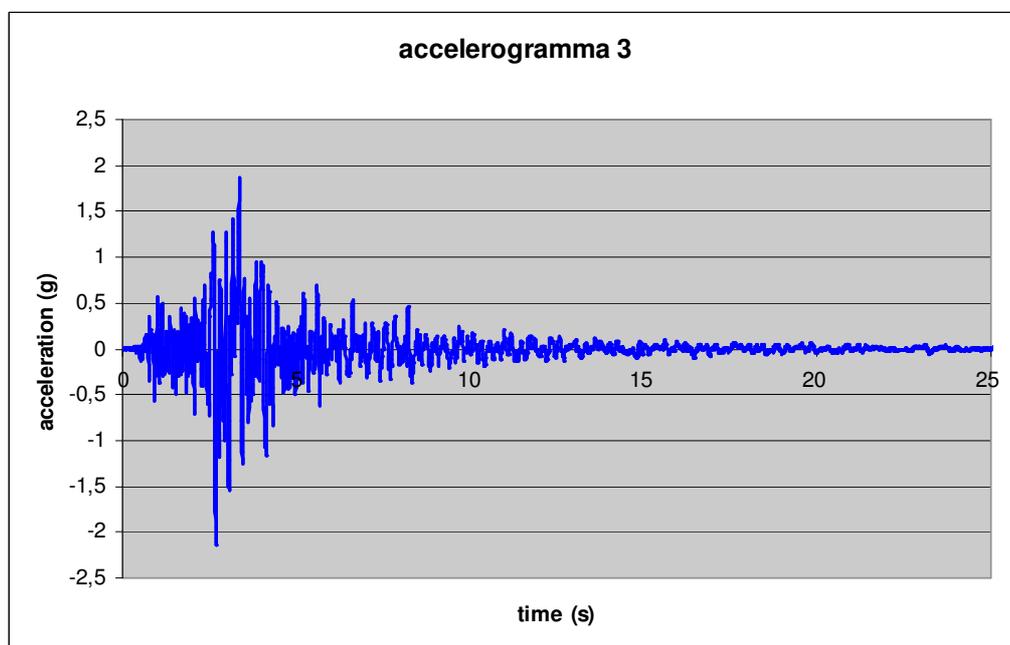
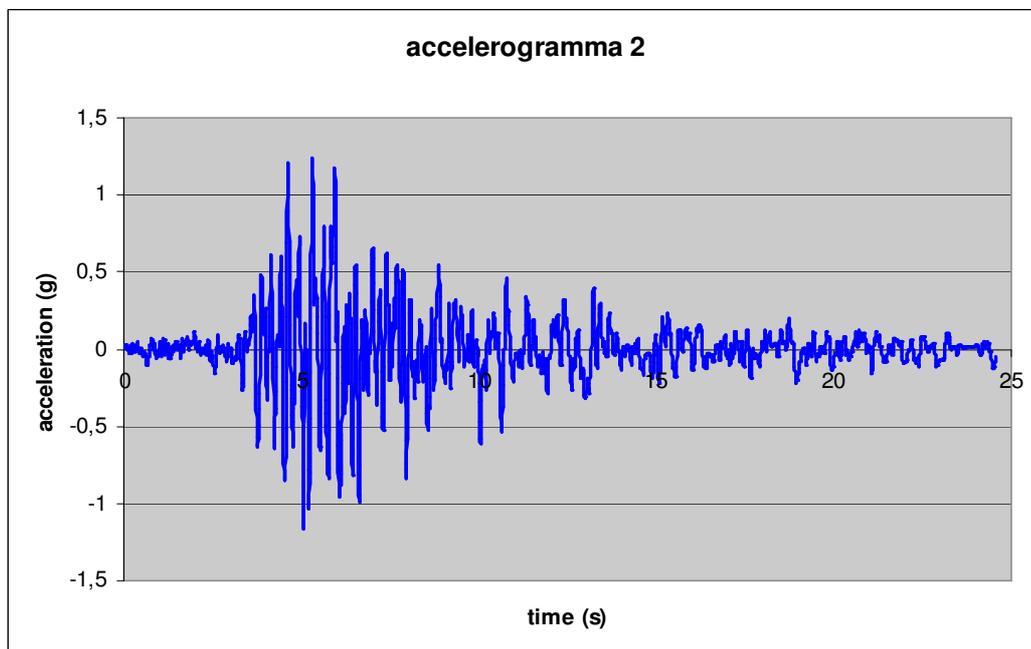
| | Name | Description | Type | PGA (g) | PGV (cm/s) | Scale Factor |
|---|---|-------------|---------|---------|------------|--------------|
| 1 | <input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 712 SLV\acc_TR00712_Pescia_1.txt | | Outcrop | 0.18 | 8.91 | 0.08 |
| 2 | <input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 712 SLV\acc_TR00712_Pescia_2.txt | | Outcrop | 0.19 | 15.23 | 0.15 |
| 3 | <input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 712 SLV\acc_TR00712_Pescia_3.txt | | Outcrop | 0.19 | 11.98 | 0.09 |
| 4 | <input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 712 SLV\acc_TR00712_Pescia_4.txt | | Outcrop | 0.18 | 15.19 | 0.11 |
| 5 | <input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 712 SLV\acc_TR00712_Pescia_5.txt | | Outcrop | 0.18 | 5.60 | 0.14 |
| 6 | <input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 712 SLV\acc_TR00712_Pescia_6.txt | | Outcrop | 0.18 | 14.49 | 0.09 |
| 7 | <input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 712 SLV\acc_TR00712_Pescia_7.txt | | Outcrop | 0.18 | 14.87 | 0.14 |

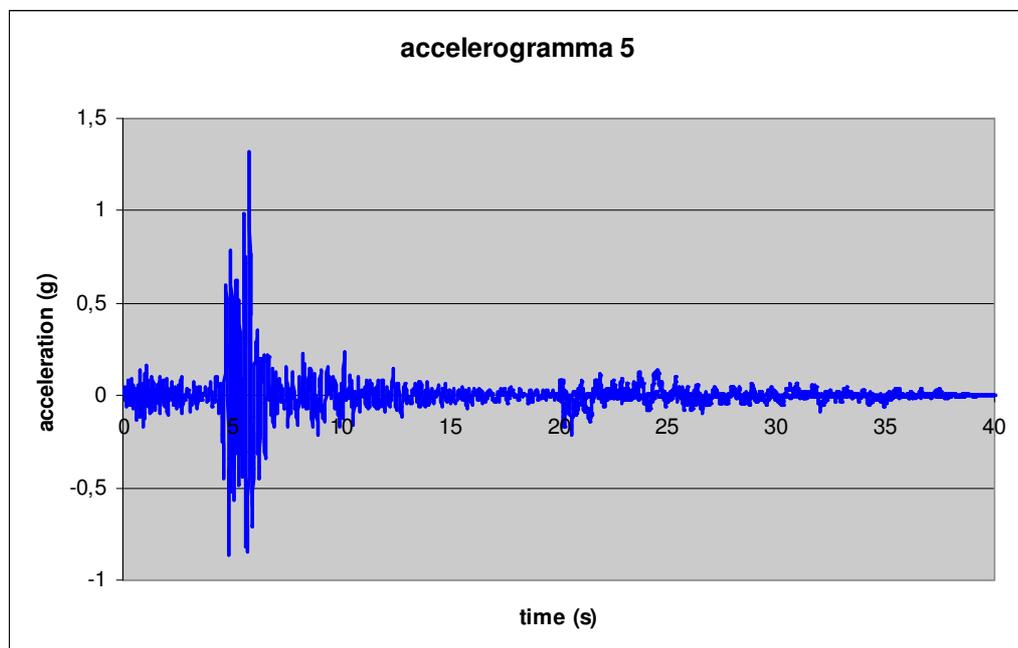
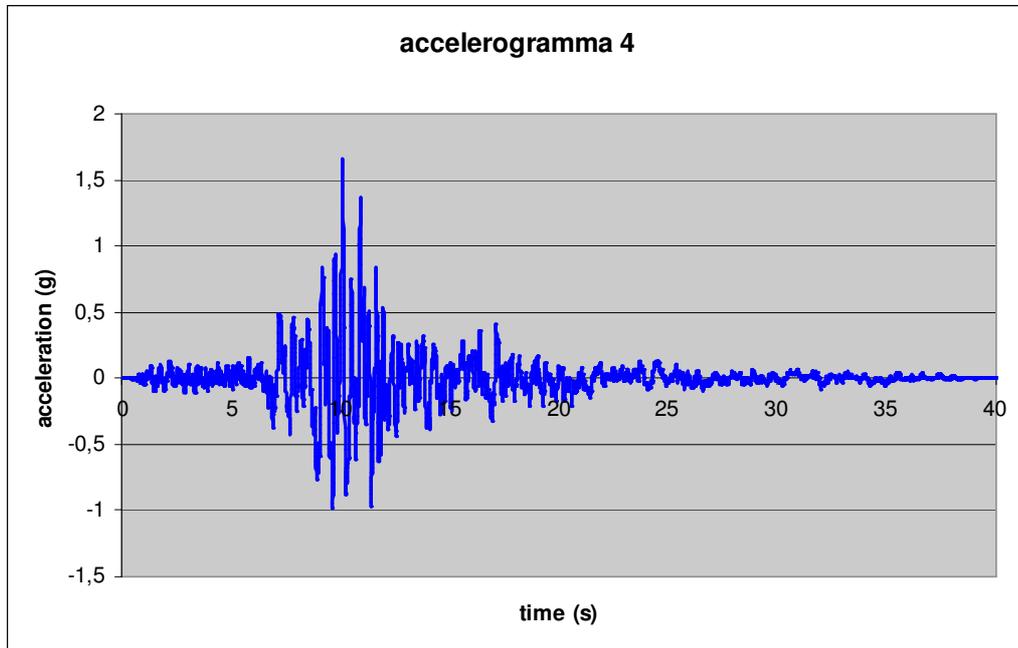
5. RISULTATI DELLE ANALISI

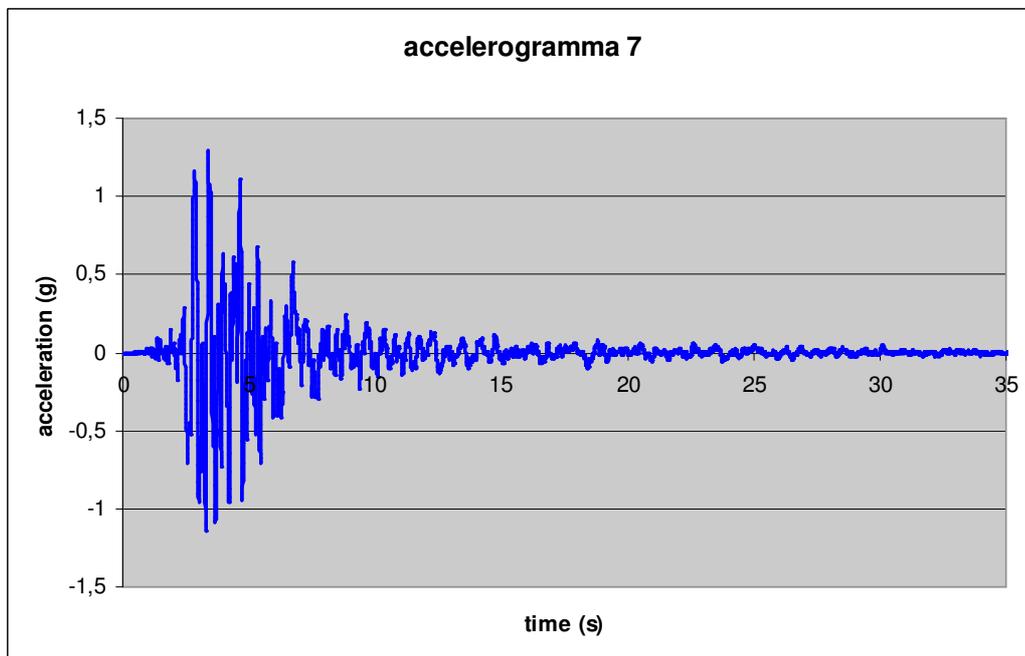
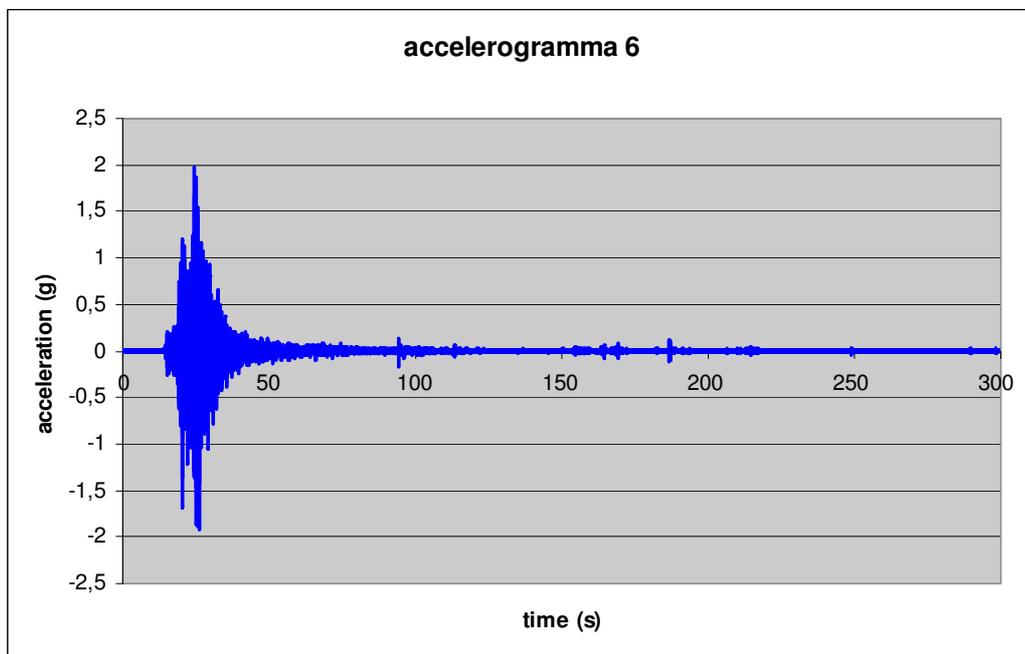
La media dei 7 accelerogrammi sopra definiti fornisce lo spettro elastico che di seguito viene riportato insieme allo spettro normalizzato; infine si riportano le coordinate dello spettro elastico (Periodo T in secondi e accelerazione S_e in g).

5.1 SET ACCELEROGRAMMI SLV

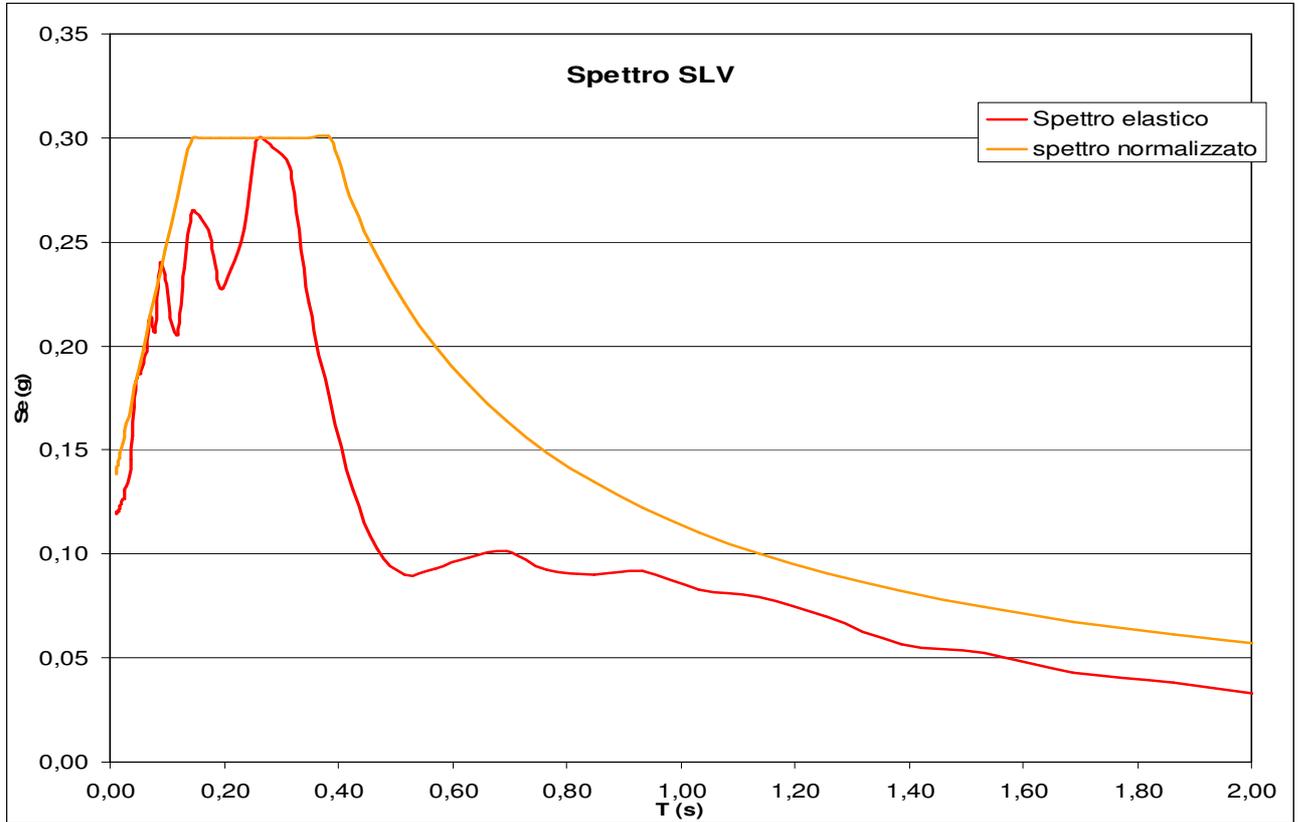








5.2 SPETTRO ELASTICO SLV



| T (s) | Se (g) |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 0,01 | 0,12 | 0,05 | 0,19 | 0,23 | 0,26 | 1,14 | 0,08 |
| 0,01 | 0,12 | 0,05 | 0,19 | 0,26 | 0,30 | 1,26 | 0,07 |
| 0,01 | 0,12 | 0,06 | 0,19 | 0,29 | 0,30 | 1,39 | 0,06 |
| 0,01 | 0,12 | 0,07 | 0,20 | 0,32 | 0,29 | 1,53 | 0,05 |
| 0,01 | 0,12 | 0,07 | 0,21 | 0,35 | 0,22 | 1,69 | 0,04 |
| 0,02 | 0,12 | 0,08 | 0,21 | 0,38 | 0,17 | 1,86 | 0,04 |
| 0,02 | 0,12 | 0,09 | 0,24 | 0,42 | 0,13 | 2,06 | 0,03 |
| 0,02 | 0,12 | 0,10 | 0,23 | 0,47 | 0,10 | 2,27 | 0,02 |
| 0,02 | 0,13 | 0,11 | 0,21 | 0,52 | 0,09 | 2,51 | 0,02 |
| 0,02 | 0,13 | 0,12 | 0,21 | 0,57 | 0,09 | 2,77 | 0,02 |
| 0,03 | 0,13 | 0,13 | 0,24 | 0,63 | 0,10 | 3,05 | 0,01 |
| 0,03 | 0,13 | 0,14 | 0,26 | 0,70 | 0,10 | 3,37 | 0,01 |
| 0,03 | 0,14 | 0,16 | 0,26 | 0,77 | 0,09 | 3,72 | 0,01 |
| 0,04 | 0,15 | 0,17 | 0,25 | 0,85 | 0,09 | 4,10 | 0,01 |
| 0,04 | 0,16 | 0,19 | 0,23 | 0,93 | 0,09 | 4,53 | 0,01 |
| 0,04 | 0,17 | 0,21 | 0,24 | 1,03 | 0,08 | 5,00 | 0,00 |

6. CONCLUSIONI

La presente relazione è stata svolta allo scopo di valutare la risposta sismica locale (RSL) della scuola materna di Pesciamorta.

Sono pertanto state definite le modifiche, in termini di ampiezza, durata e contenuto in frequenza, che un segnale in arrivo alla base di un deposito subisce nel suo attraversamento, fino a raggiungere la superficie.

Sulla base della sismostratigrafia desunta dalla prospezione sismica con analisi MASW e dalle indagini HVSR effettuate a breve distanza, in riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita SLV, sono stati elaborati tramite il programma STRATA, 7 accelerogrammi sismo compatibili, ottenendo lo spettro elastico così come riportato nel precedente paragrafo.

Nella seguente Tabella 5 sono riportati i principali parametri dello spettro normalizzato.

| Stato limite | a_g | S | a_{max} (PGA) | F_0 | T_B | T_C | T_D |
|---------------------|-------------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| SLV | 0.153 | 0.823 | 0.126 | 2.382 | 0.14 | 0.38 | 2.212 |

Tabella 5

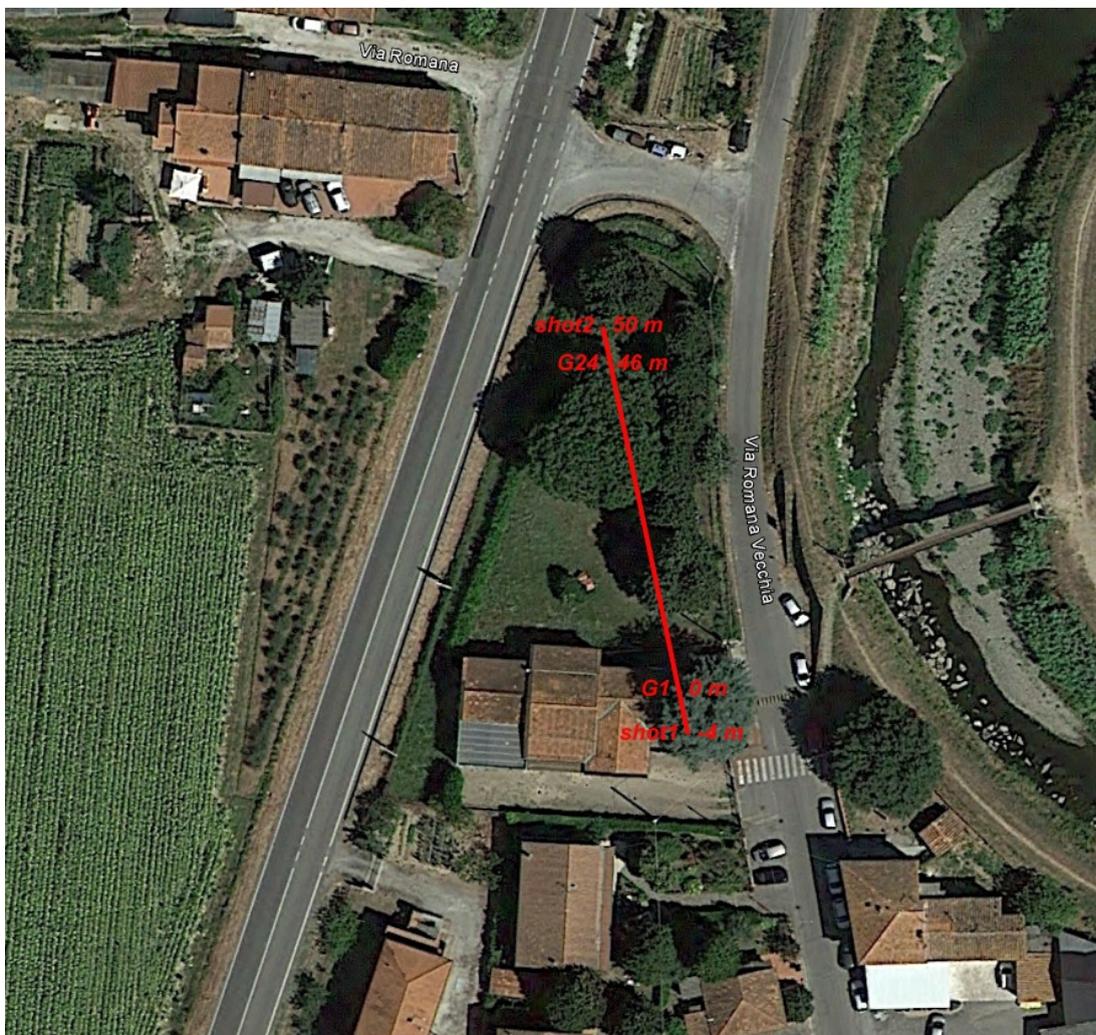
Pescia, 29 settembre 2015

Il relatore
Dr. Franco Menetti

ALLEGATI

- **Elaborati della prospezione sismica MASW**

**INDAGINE SISMICA CON ONDE DI SUPERFICIE (MASW)
SVOLTA IN VIA ROMANA VECCHIA, LOC. PESCIAMORTA,
COMUNE DI PESCIA (PT)**



RAPPORTO INTERPRETATIVO

PREMESSA

Su incarico dello Studio Sigma è stata svolta una indagine sismica con analisi delle onde di superficie (metodo masw) in adiacenza ad una scuola pubblica posta in via Romana Vecchia, Loc. Pesciamorta, Comune di Pescia (PT), al fine di giungere alla determinazione del parametro Vs30 necessario per la attribuzione della categoria di suolo di fondazione ai sensi delle Norme Tecniche per le costruzioni.

Strumentazione utilizzata

L'apparecchiatura utilizzata è costituita da:

sistema di energizzazione – le sorgenti utilizzate per generare le onde P e di superficie tipo Rayleigh (utilizzate nell'analisi MASW) consistono in un cannoncino esploditore caricato con cartucce cal. 8 di tipo industriale KILN ed in una massa battente da 10 kg;

Sistema di ricezione – 24 geofoni verticali con frequenza propria a 4,5 Hz, in grado di tradurre in un segnale elettrico la velocità con cui si sposta il suolo al passaggio delle onde sismiche prodotte;

sistema di acquisizione - sismografo Dolang mod. JEA 247 ESAC con memoria dinamica a 24 bit, attrezzato con 24 dataloggers a per canale, per un totale di 24 canali. Il sistema è in grado di convertire in digitale e di registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale del sistema di ricezione;

trigger – un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la mazza colpisce la base di battuta, oppure con la vibrazione provocata nell'istante in cui avviene l'esplosione nel cannoncino. L'impulso viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati in modo da individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione (tempo $t = 0$ millisec).

INDAGINE MASW

metodologia ed acquisizione

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio S sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza dei vari geofoni posti lungo uno stendimento sulla superficie del suolo. Questa è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Nelle prospezioni sismiche la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh: queste sono onde cilindriche che viaggiano sulla superficie del semispazio, le cui due componenti del moto formano una ellisse nel piano verticale; in un semispazio omogeneo non sono dispersive e la loro velocità corrisponde a $0,92V_s$, mentre in un semispazio disomogeneo come un terreno stratificato sono dispersive (cioè diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e di gruppo) e di conseguenza la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra 0 e $0,92V_s$. Ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi 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 (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione. Pertanto attraverso un algoritmo di inversione della curva di dispersione delle onde Rayleigh si può ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D) che descrive la variazione di velocità delle onde S con la profondità, e quindi si può determinare il parametro V_{s30} . I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli ed orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicazione può essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20° , sia della topografia che delle geometrie degli strati sepolti. I metodi basati sull'analisi delle onde di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati (come accade nella sismica a rifrazione) dalla presenza di inversioni della velocità.

La metodologia utilizzata consiste essenzialmente nel calcolare la curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio – tempo lungo lo stendimento, energizzando alternativamente ai due estremi; poi si procede con la determinazione della

curva di dispersione apparente numerica (Roma, 2001) e della curva di dispersione effettiva numerica (Lai – Rix, 1998), da cui in seguito si ottiene il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_{sv} . L'affidabilità del profilo di velocità calcolato con il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo fra la curva di dispersione sperimentale e quella numerica.

Nell'area d'intervento è stata eseguita una linea sismica disposta come risulta visibile nell'allegato fotografico riportato sul frontespizio. Di seguito si riporta in forma sintetica la configurazione spaziale e temporale dell'acquisizione:

lunghezza stendimento geofoni: 46 m

n° geofoni: 24

distanza intergeofonica: 2 m

n° energizzazioni (shots): 2

posizione end shot: -4 m, 50 m

off set shots: no

durata acquisizione 2048 msec

intervallo di campionamento 1 msec

n° di campioni per traccia 2048

max. frequenza campionabile 1000 Hz

Risultati ottenuti

Attraverso l'analisi dello spettro della curva di dispersione è stato possibile ottenere il modello di velocità V_s visibile negli allegati, da cui si evince che:

- In generale la velocità V_s misurata su questi terreni è piuttosto bassa, inferiore a 200 m/sec fino ad almeno 6 m di profondità, tipico di sedimenti dotati di scarsa rigidità;
- da circa -6 m fino a circa -15 m di profondità la V_s risulta un poco più elevata, fra 200 e 220 m/sec;
- oltre 15 m si registra un modesto ma comunque apprezzabile incremento della V_s , correlabile con un passaggio litologico verso terreni dotati di una maggiore consistenza, con V_s da 272 m/sec (-15 m) fino a 295 m/sec (-30 m).

Questo modello di velocità (visibile negli allegati) permette la determinazione del parametro **V_{S30}** attraverso la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h è lo spessore dello strato i-esimo e V è la velocità delle onde S al suo interno. Nel caso in esame si ottiene

$$\mathbf{V_{S30} = 233 \text{ m/sec}}$$

Quindi il modello di velocità testè descritto può essere correlato con la categoria di suolo **C** ai sensi del D.M. 14/01/08.

Si rimane a disposizione per qualsiasi ulteriore chiarimento.

Capannori, 8 settembre 2015

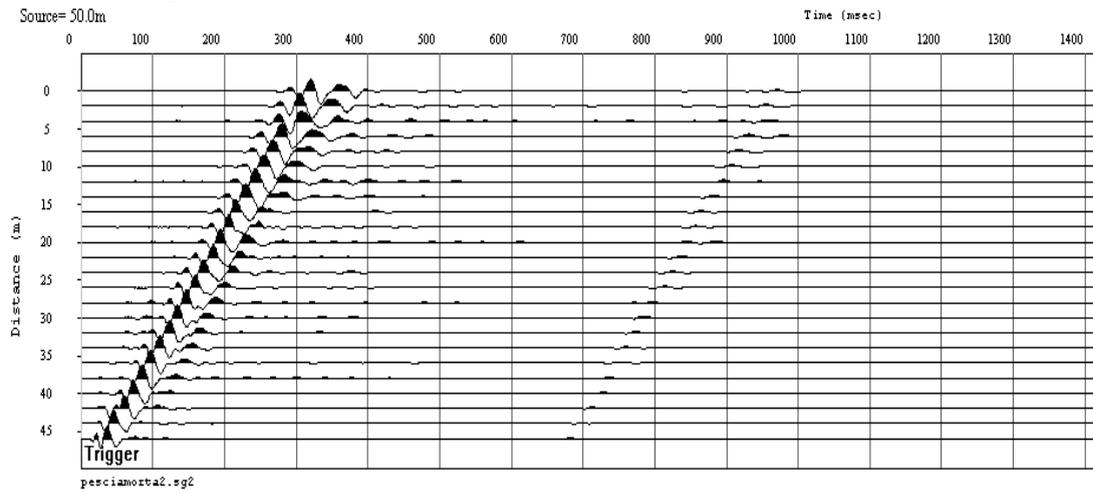
Allegati

Elaborati MASW:

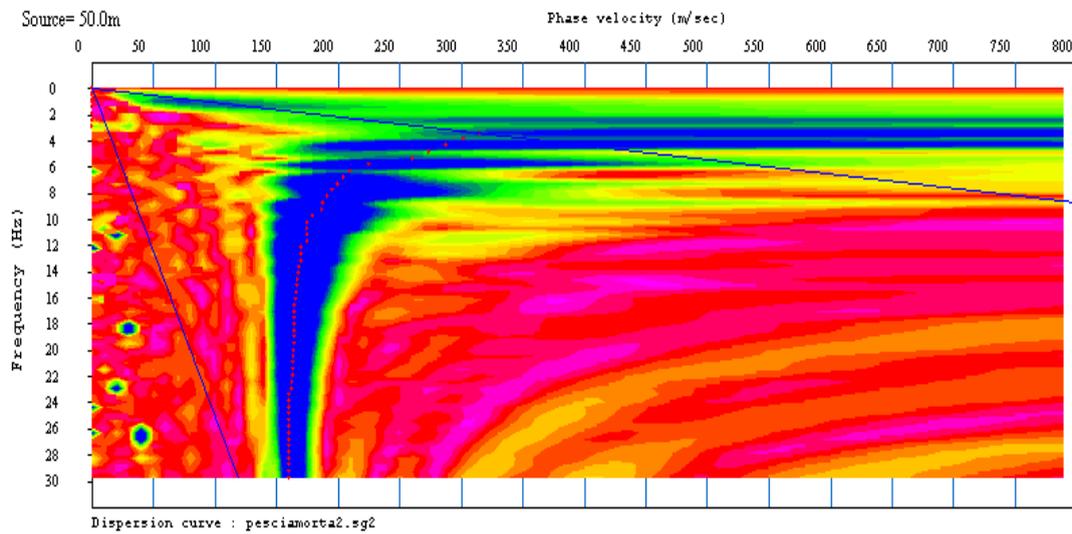
- 1) sismogrammi utilizzati per l'elaborazione
- 2) spettro curva dispersione con picking
- 3) confronto fra la curva di dispersione ottenuta dal picking e curva del modello generato dall'inversione
- 4) Modello Vs – profondità
- 5) allegato fotografico

ELABORATI MASW

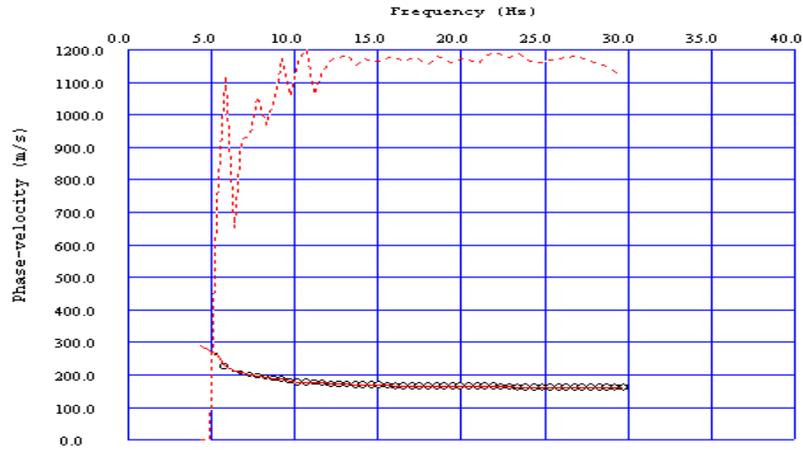
1) sismogrammi utilizzati per l'elaborazione



2) spettro di potenza della curva di dispersione

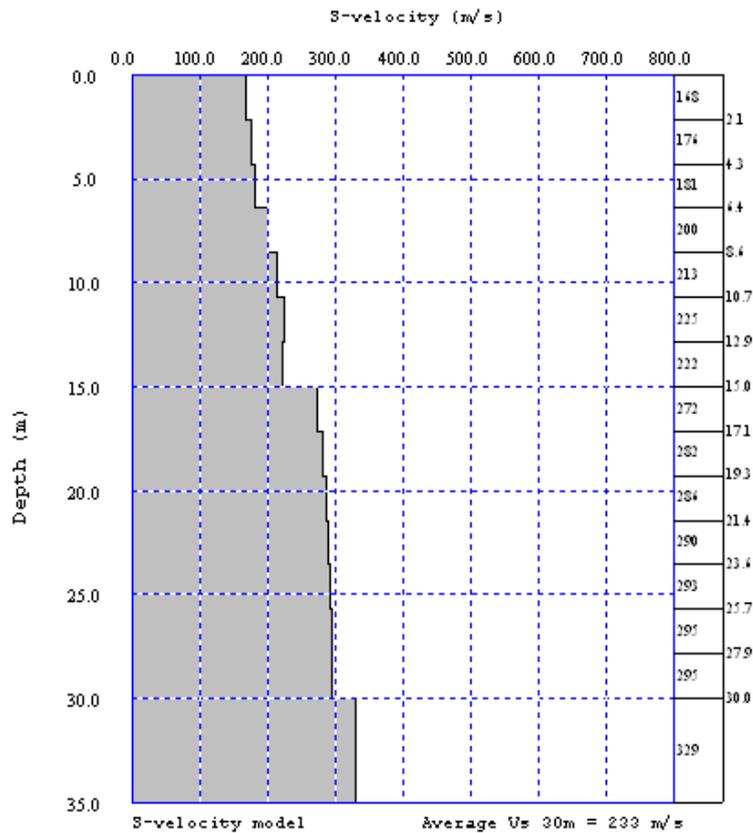


3) curva di dispersione ottenuta dal picking e curva di attendibilità del modello generato dall'inversione



4) modello di velocità delle onde S

Average Vs30 = 233 m/sec



5) allegato fotografico



