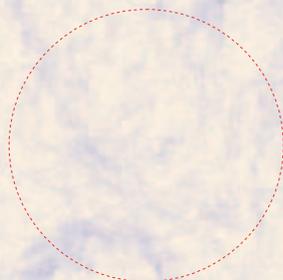


**INDAGINE GEOLOGICA CON VALUTAZIONI
SISMICHE IDROGEOLOGICHE E GEOTECNICHE
PRELIMINARI INERENTE IL PROGETTO DI
AMPLIAMENTO DELLA SCUOLA MATERNA DI
CALAMARI**

**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. 4
4. INPUT SISMICO E DEFINIZIONE DELLO SPETTRO ELASTICO	pag. 5
5. RISULTATI DELLE ANALISI	pag. 7
5.1 SET ACCELEROGRAMMI SLV	pag. 7
5.2 SPETTRO ELASTICO SLV	pag. 11
5.3 SET ACCELEROGRAMMI SLD	pag. 12
5.4 SPETTRO ELASTICO SLD	pag. 15
6. CONCLUSIONI	pag. 16

1. PREMESSA

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

Lo studio è stato condotto a norma del D.M. 14.1.2008 (NTC) e successiva Circolare del 2.2.2009 (Istruzione per l'applicazione delle Norme Tecniche).

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 della sicurezza e delle prestazioni.

Per la definizione della sismostratigrafia si fa riferimento a quanto determinato tramite sondaggio/down-hole svolto durante la campagna di indagini riportata nella relazione geologica generale.

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 geometrie 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 n. 1 sondaggio geognostico e rispettiva indagine geofisica in foro di tipo Down Hole, ubicati come indicato nella seguente figura (vedi Fig.1).

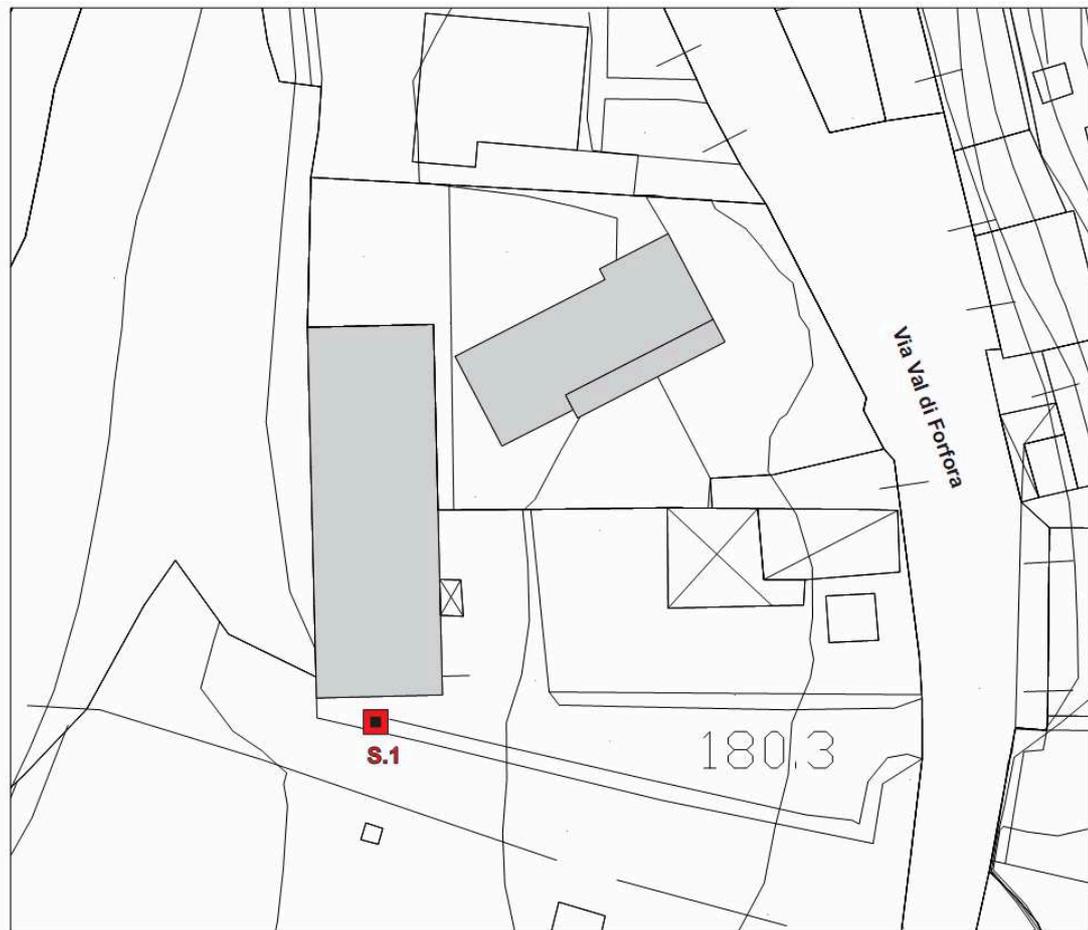


Figura 1 – ubicazione delle indagini

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).

Sondaggio n. 1				
Sismostrato	Spessore (in m)	γ (in kN/m³)	Vs (in m/s²)	Tipo di suolo
A	3	19,4	226	2
B	3	20,1	275	2
C	7	22,2	632	2
D	9	21,9	615	2
E	-	23,5	975	3

Tabella 1

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

toscana, 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.

- 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 e $T_R = 75$ anni per SLD.

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).

I valori di accelerazione massima attesa sono $a_g = 0,182g$ per SLV e $a_g = 0,076g$ per SLD.

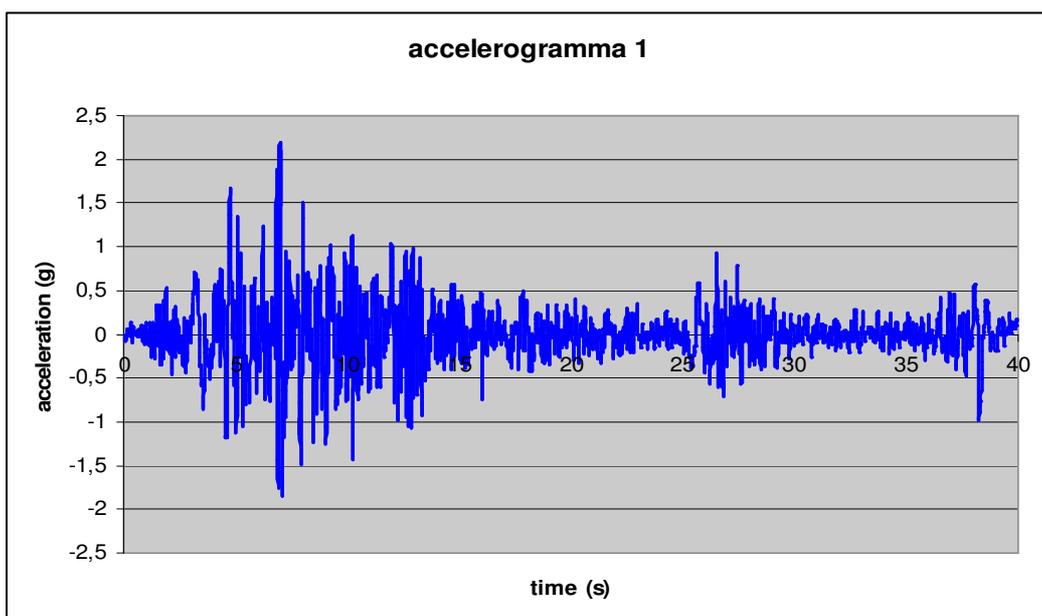
	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 712 SLV\acc_TR00712_Pescia_1.txt		Outcrop	0.18	8.91	0.08
2	<input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 712 SLV\acc_TR00712_Pescia_2.txt		Outcrop	0.19	15.23	0.15
3	<input checked="" type="checkbox"/> 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

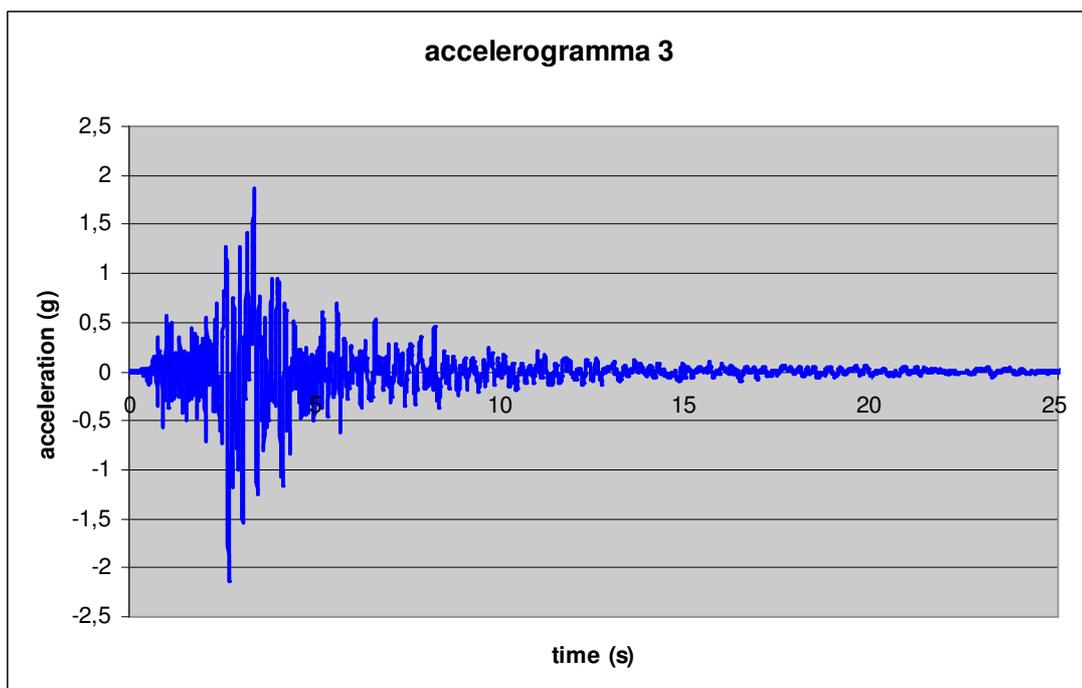
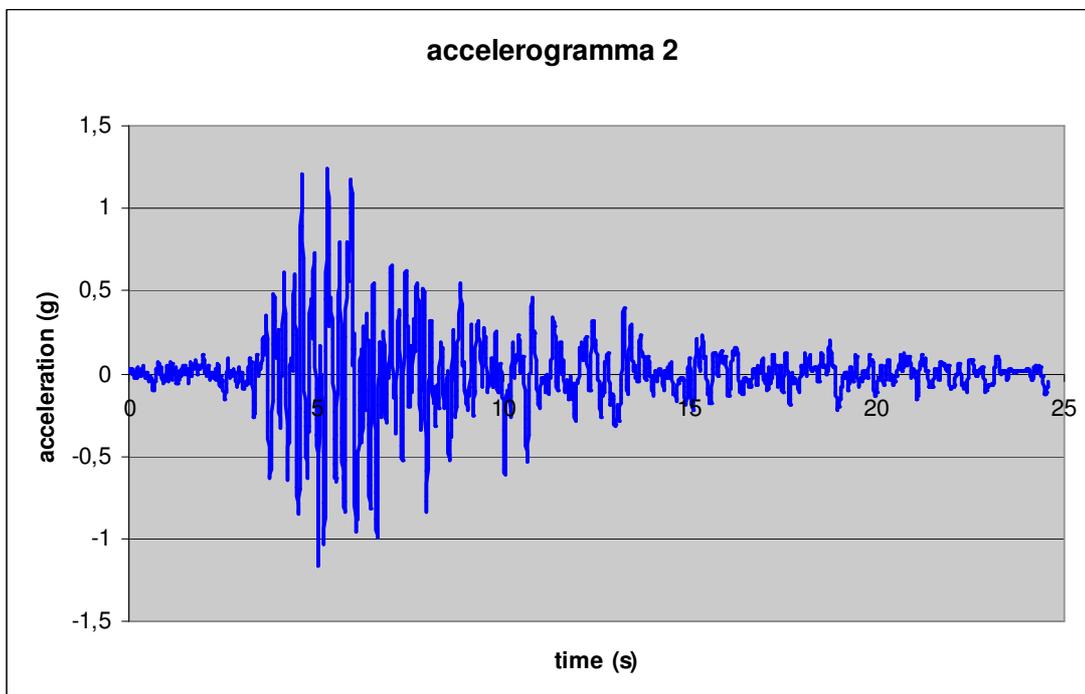
	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 75 SLD\acc_TR00075_Pescia_1.txt		Outcrop	0.08	3.17	0.11
2	<input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 75 SLD\acc_TR00075_Pescia_2.txt		Outcrop	0.08	6.19	0.11
3	<input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 75 SLD\acc_TR00075_Pescia_3.txt		Outcrop	0.08	0.43	0.11
4	<input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 75 SLD\acc_TR00075_Pescia_4.txt		Outcrop	0.08	4.69	0.11
5	<input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 75 SLD\acc_TR00075_Pescia_5.txt		Outcrop	0.08	4.05	0.11
6	<input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 75 SLD\acc_TR00075_Pescia_6.txt		Outcrop	0.08	7.14	0.11
7	<input checked="" type="checkbox"/> accelerogrammi 75 SLD\acc_TR00075_Pescia_7.txt		Outcrop	0.08	5.53	0.11

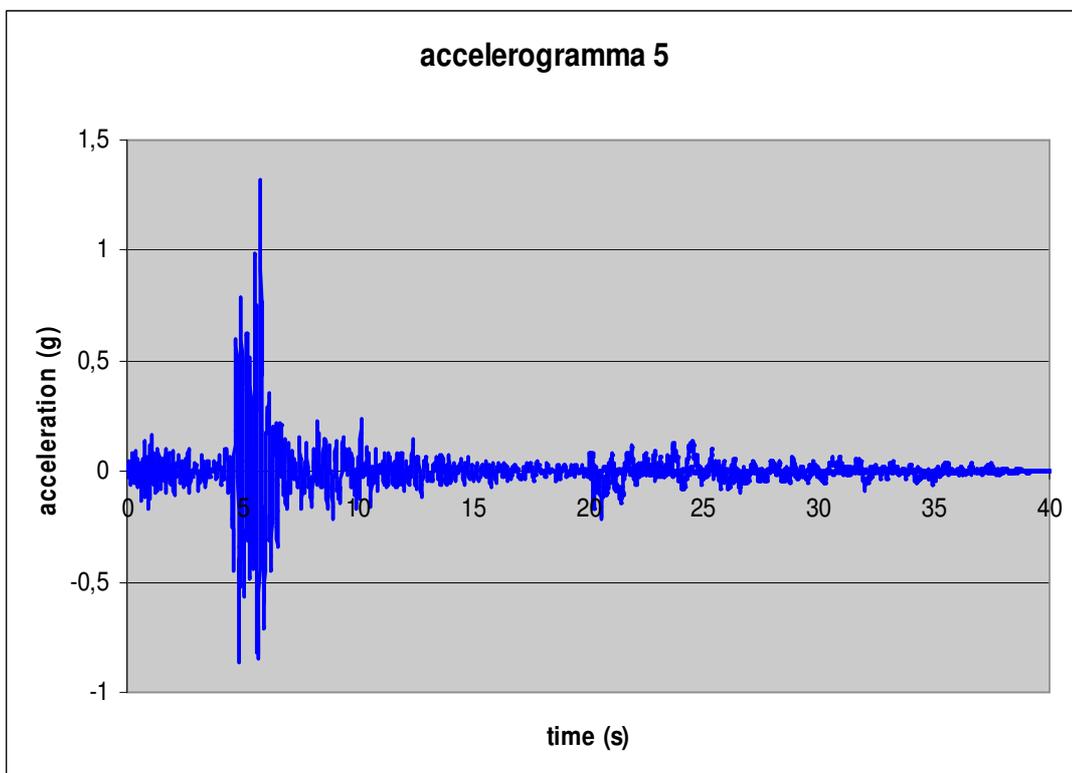
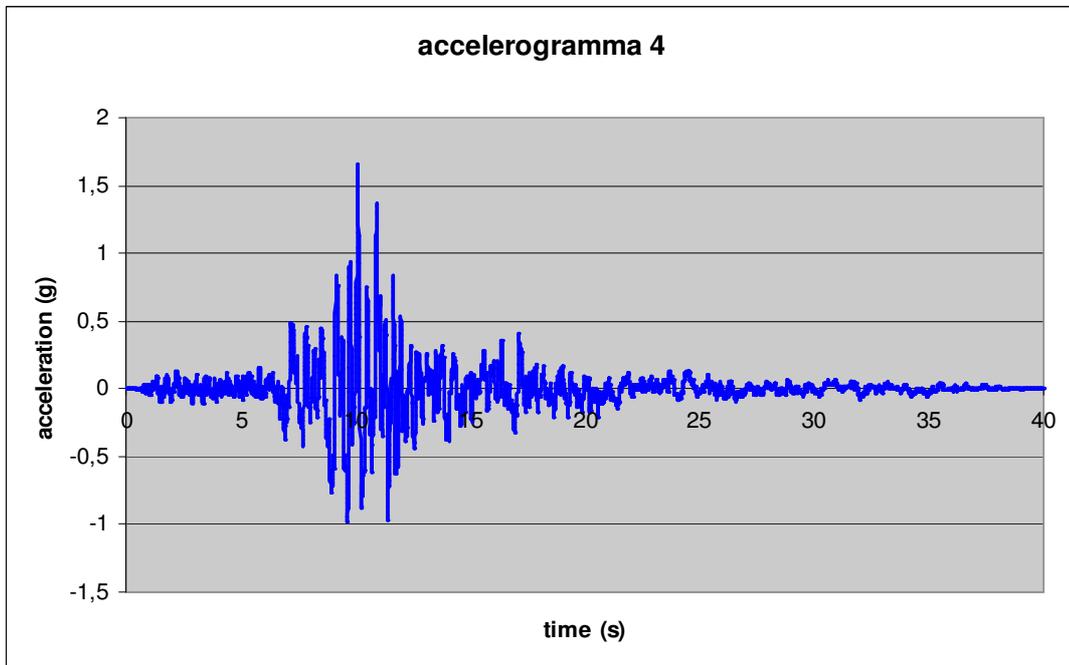
5. RISULTATI DELLE ANALISI

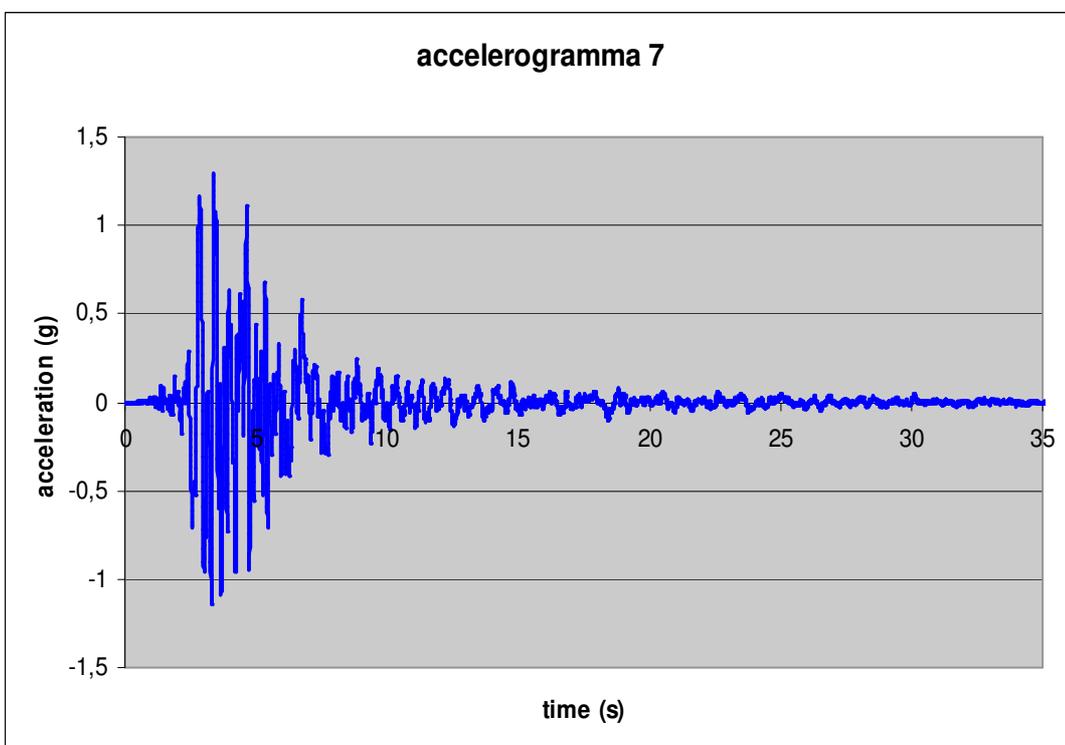
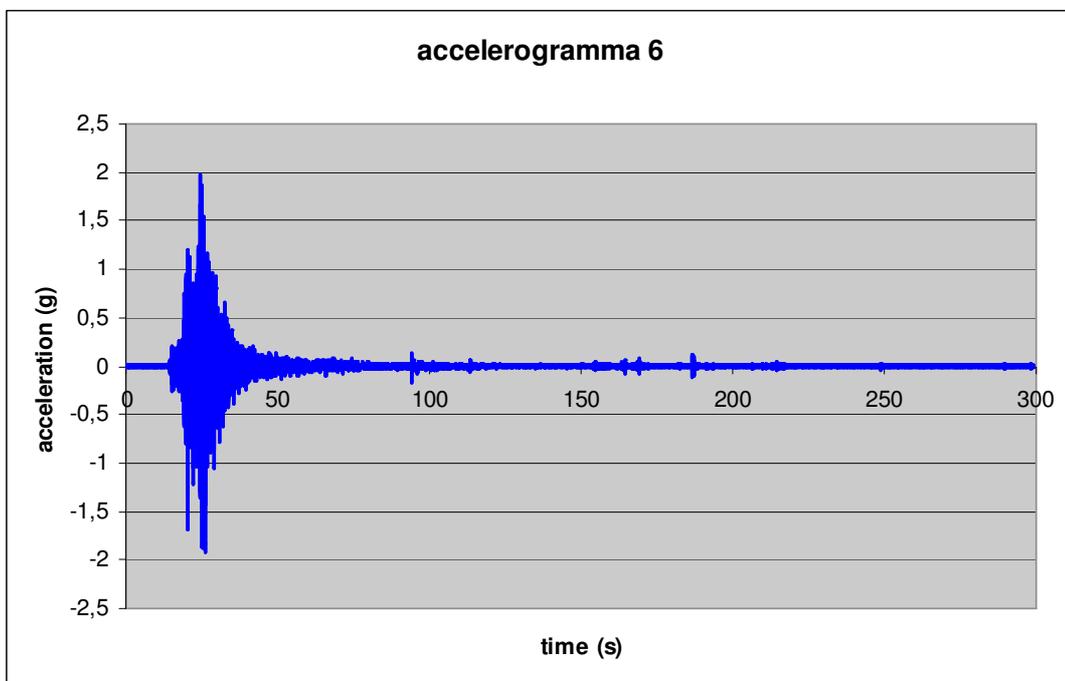
La media dei 7 accelerogrammi SLV e SLD sopra definiti fornisce gli spettri elastici che di seguito vengono riportati insieme allo spettro normalizzato; infine si riportano le coordinate (Periodo T in secondi e accelerazione S_e in g) dello spettro elastico.

5.1 SET ACCELEROGRAMMI SLV

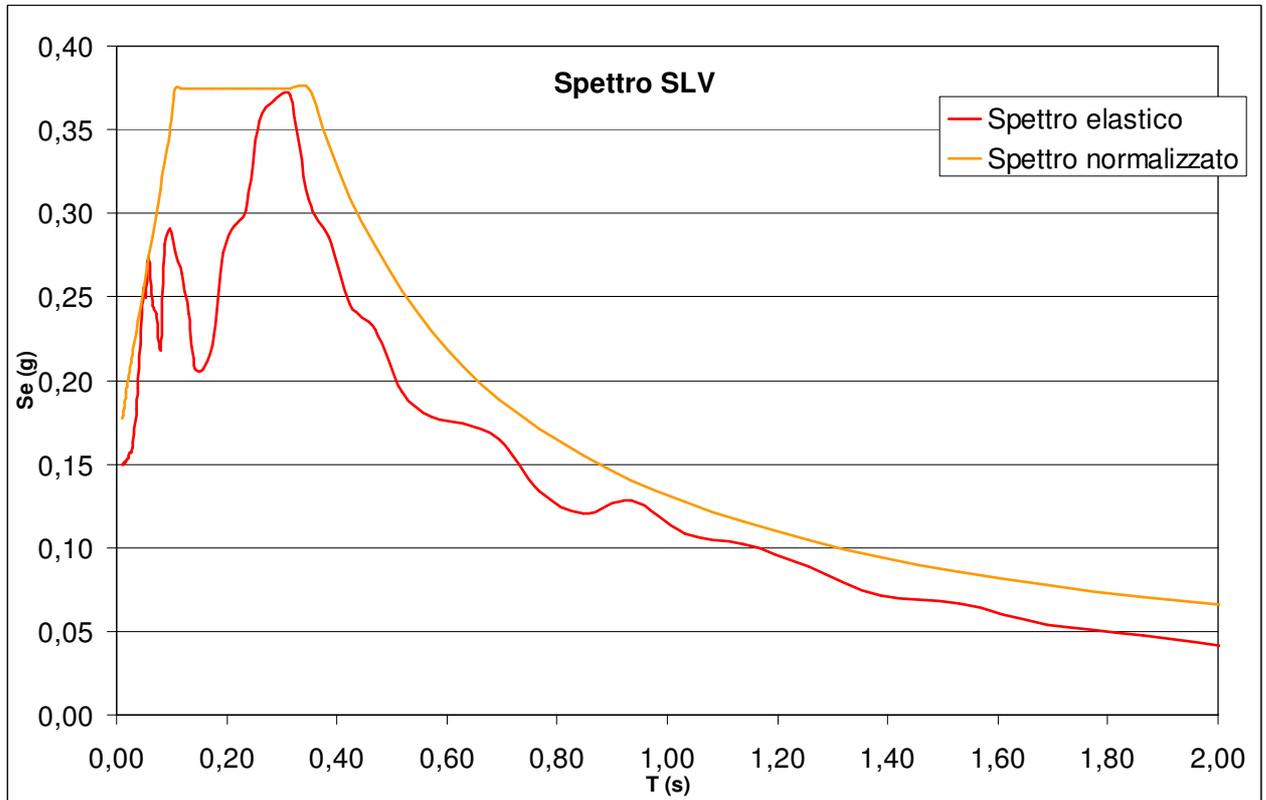






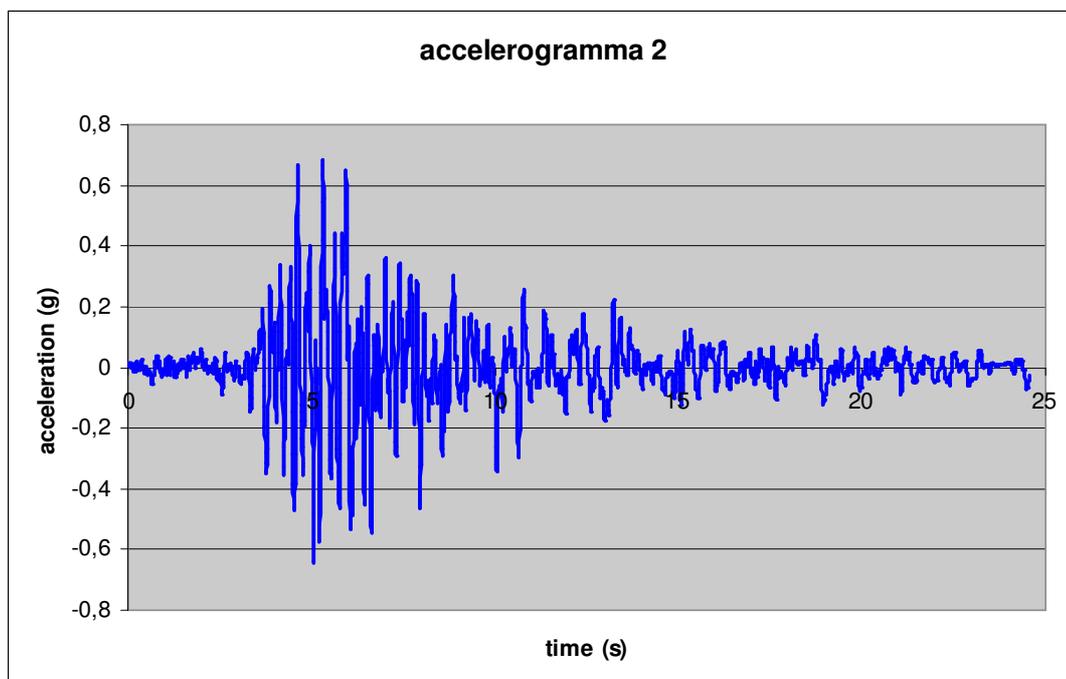
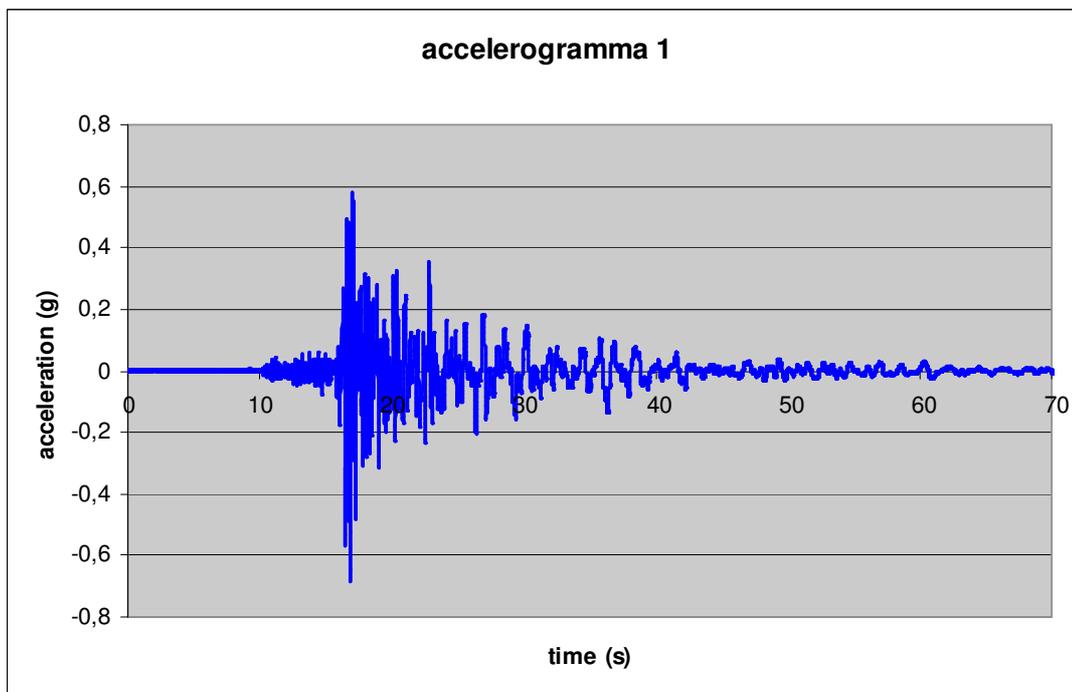


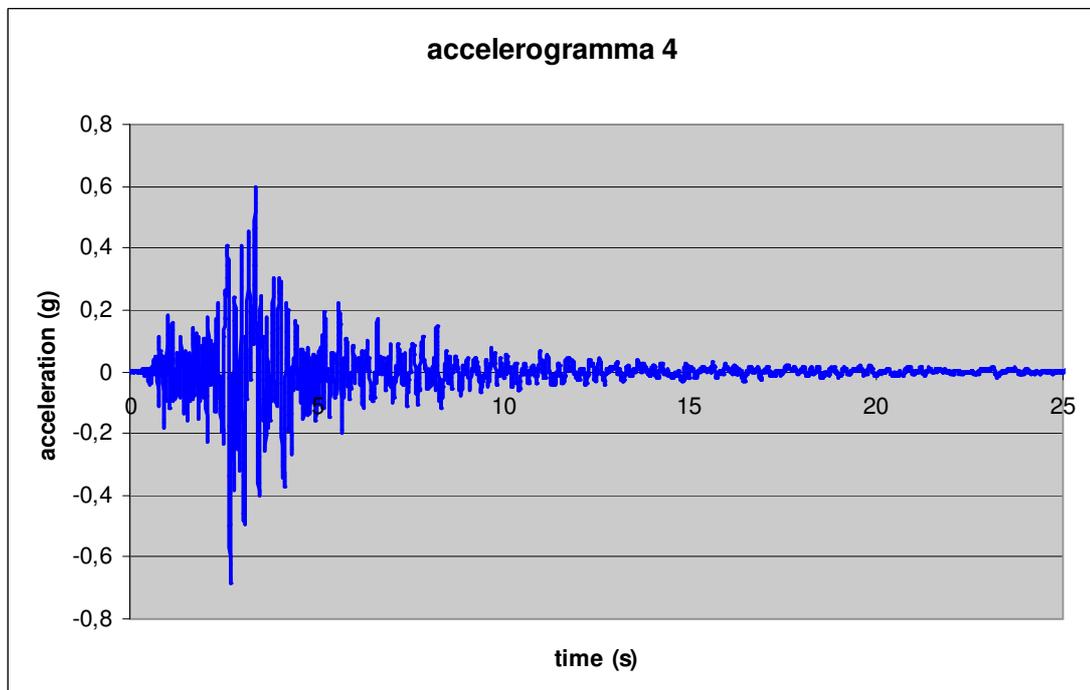
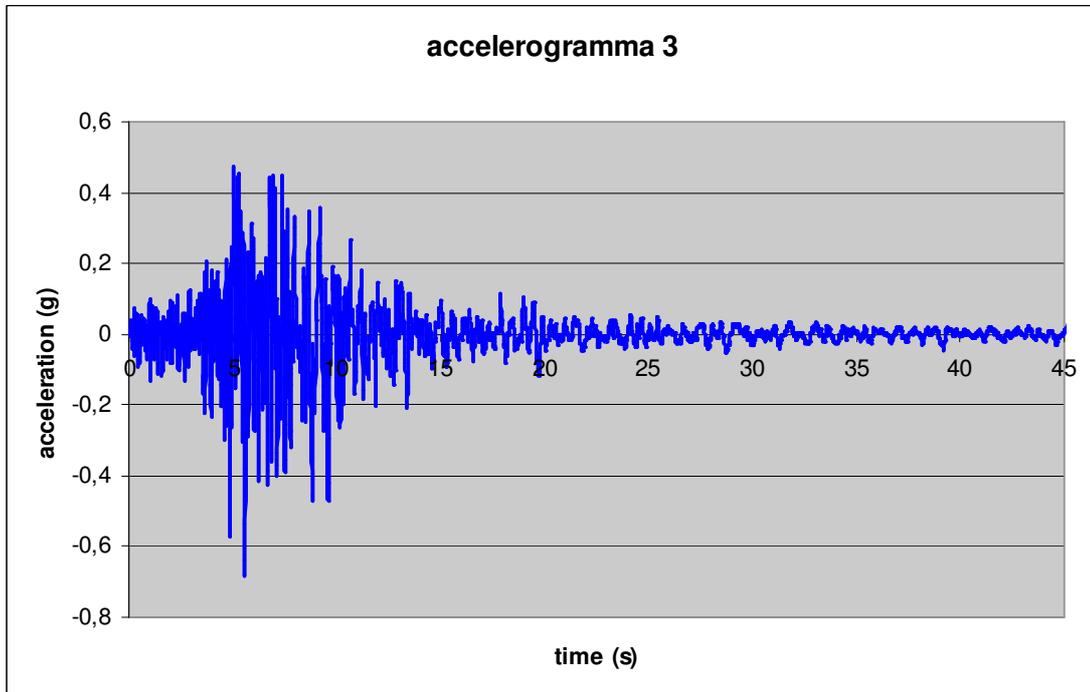
5.2 SPETTRO ELASTICO SLV

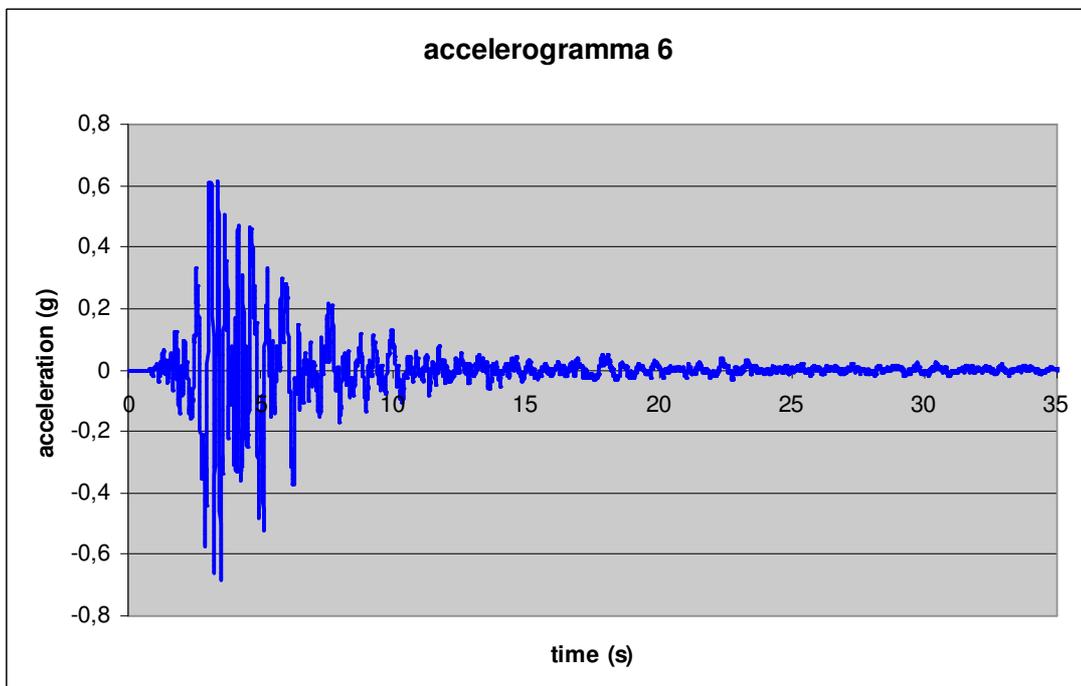
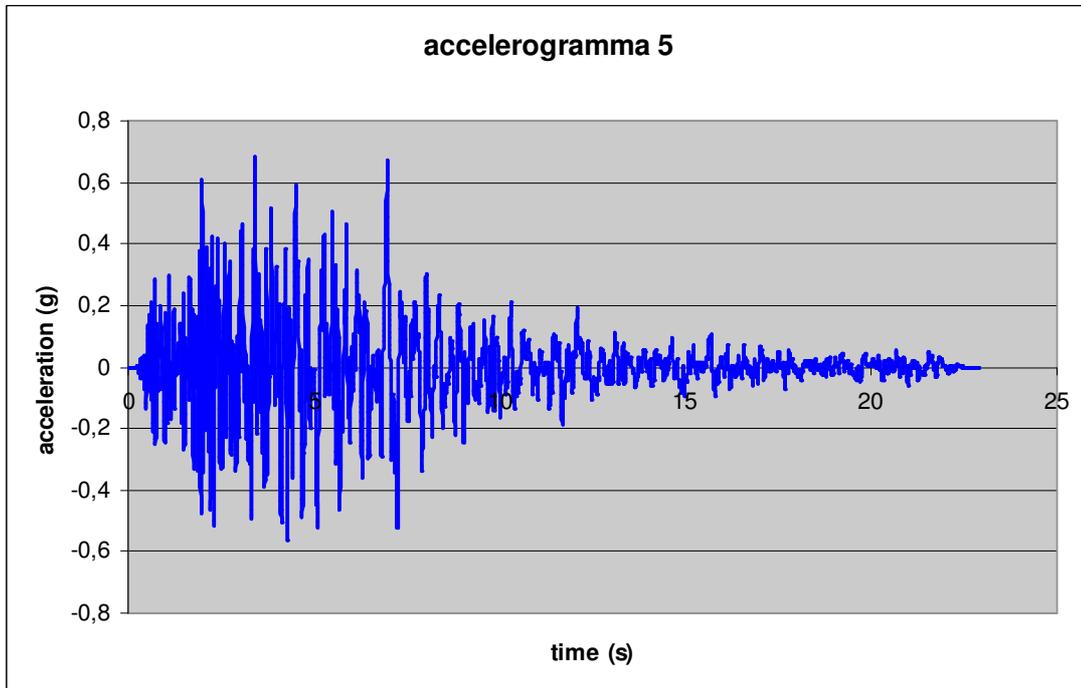


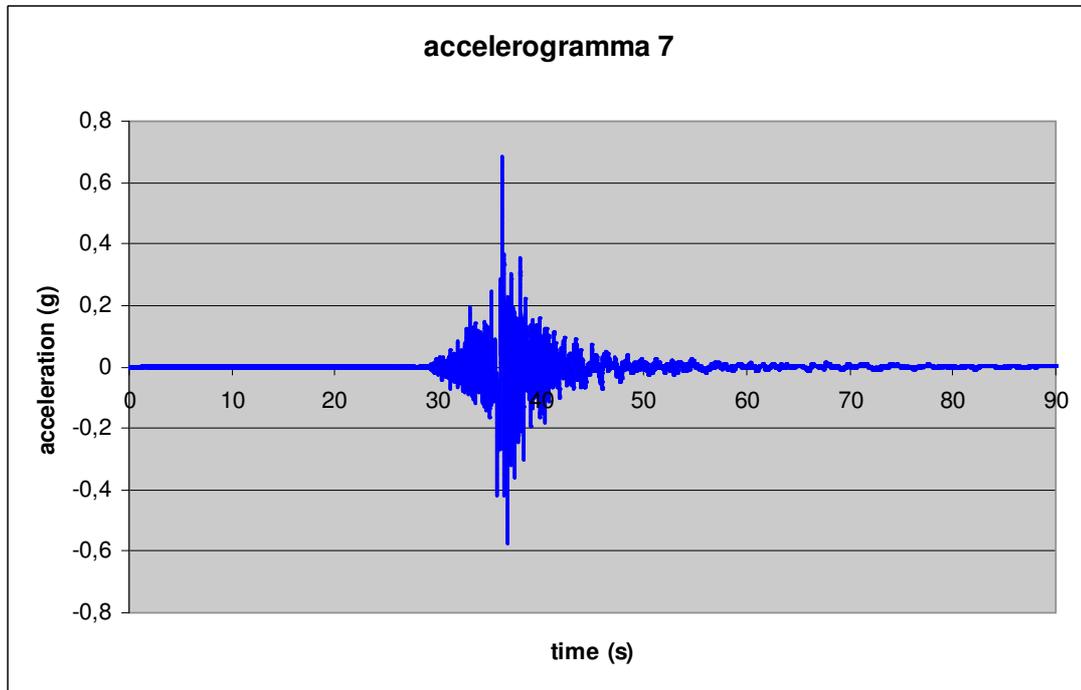
T (s)	Se (g)						
0,01	0,15	0,04	0,20	0,16	0,21	0,63	0,17
0,01	0,15	0,04	0,22	0,17	0,22	0,70	0,16
0,01	0,15	0,05	0,25	0,19	0,28	0,77	0,13
0,01	0,15	0,05	0,25	0,21	0,29	0,85	0,12
0,01	0,15	0,06	0,27	0,23	0,30	0,93	0,13
0,02	0,15	0,07	0,24	0,26	0,35	1,03	0,11
0,02	0,15	0,07	0,24	0,29	0,37	1,14	0,10
0,02	0,15	0,08	0,22	0,32	0,37	1,26	0,09
0,02	0,15	0,09	0,28	0,35	0,31	1,39	0,07
0,02	0,16	0,10	0,29	0,38	0,29	1,53	0,07
0,03	0,16	0,11	0,28	0,42	0,25	1,69	0,05
0,03	0,16	0,12	0,26	0,47	0,23	1,86	0,05
0,03	0,17	0,13	0,24	0,52	0,19	2,06	0,04
0,04	0,18	0,14	0,21	0,57	0,18		

5.3 SET ACCELEROGRAMMI SLD

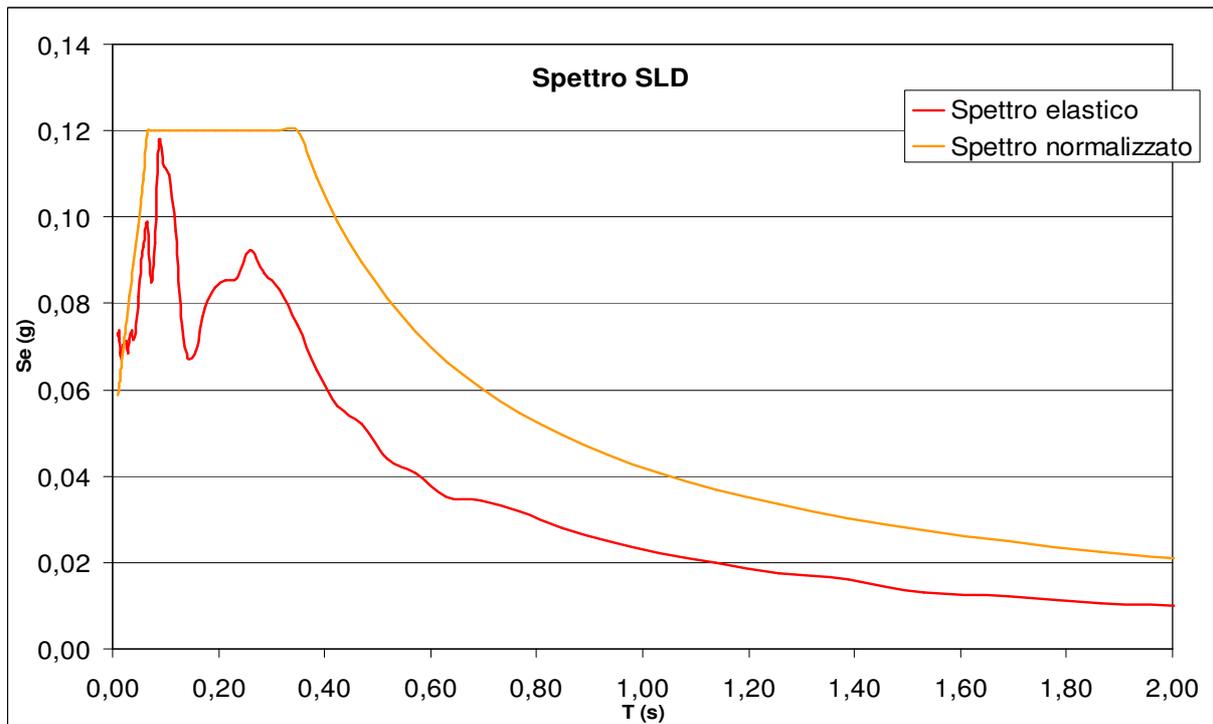








5.4 SPETTRO ELASTICO SLD



T (s)	Se (g)						
0,01	0,07	0,04	0,07	0,16	0,07	0,63	0,04
0,01	0,07	0,04	0,07	0,17	0,08	0,70	0,03
0,01	0,07	0,05	0,08	0,19	0,08	0,77	0,03
0,01	0,07	0,05	0,09	0,21	0,09	0,85	0,03
0,01	0,07	0,06	0,09	0,23	0,09	0,93	0,03
0,02	0,07	0,07	0,10	0,26	0,09	1,03	0,02
0,02	0,07	0,07	0,08	0,29	0,09	1,14	0,02
0,02	0,07	0,08	0,09	0,32	0,08	1,26	0,02
0,02	0,07	0,09	0,12	0,35	0,08	1,39	0,02
0,02	0,07	0,10	0,11	0,38	0,06	1,53	0,01
0,03	0,07	0,11	0,11	0,42	0,06	1,69	0,01
0,03	0,07	0,12	0,10	0,47	0,05	1,86	0,01
0,03	0,07	0,13	0,07	0,52	0,04	2,06	0,01
0,04	0,07	0,14	0,07	0,57	0,04		

6. CONCLUSIONI

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

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 in foro Down Hole e in riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita SLV, e allo stato limite di danno SLD, sono stati elaborati tramite il programma STRATA, 7 accelerogrammi sismo compatibili, ottenendo i corrispondenti due spettri elastici così come riportato nel precedente paragrafo.

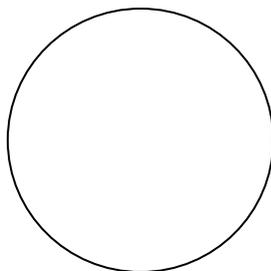
Nella seguente tabella sono riportati i principali parametri degli spettri normalizzati per le due configurazioni previste (SLV e SLD).

Stato limite	a_g	S	a_{max} (PGA)	F_0	T_B	T_C	T_D
SLV	0.182	0.864	0.157	2.385	0.11	0.35	2.328
Stato limite	a_g	S	a_{max} (PGA)	F_0	T_B	T_C	T_D
SLD	0.076	0.638	0.048	2.476	0.07	0.35	1.904

Tabella 5

Pescia, 28 settembre 2015

Il relatore
Dr. Franco Menetti



ALLEGATI

- **Elaborati della prospezione sismica DOWNHOLE**
- **Elaborati della prospezione sismica MASW**

**INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE
SVOLTA PRESSO UNA SCUOLA PUBBLICA
IN LOC. CALAMARI, COMUNE DI PESCIA (PT)**



Rapporto interpretativo

PREMESSA

Su incarico dello Studio Sigma è stata svolta una indagine sismica in foro con il metodo down hole su un terreno posto in adiacenza ad una scuola pubblica in Loc. Clamari, Comune di Pescia (PT). Questa indagine è finalizzata alla ricostruzione dettagliata delle caratteristiche sismiche del sottosuolo fino alla profondità di 30 m, per la definizione della azione sismica di progetto a supporto di un intervento edilizio ricadente nella classe di indagine n°4 del D.P.G.R. n°36R/2009.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'apparecchiatura utilizzata è costituita da:

sistema di energizzazione – la sorgente utilizzata per generare le onde P ed S è una mazza di 10 kg battente perpendicolarmente al terreno (onde P) e parallelamente a ad esso su un trave reso solidale al terreno da un automezzo (onde S).

Sistema di ricezione – 3 geofoni di cui 1 verticale e due orizzontali con direzione di vibrazione a 90° e con frequenza propria a 10 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. ESAC24 con memoria dinamica a 24 bit, attrezzato con 24 dataloggers per 24 canali, di cui in questo caso risultano necessari solo i primi tre. 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. 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 DOWN HOLE: METODOLOGIA ED ACQUISIZIONE

Nel metodo sismico down hole (DH) viene misurato il tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio (figura 1, 2).

Le componenti indispensabili per una misura DH accurata consistono:

- 1) una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali; uno o più geofoni tridimensionali, con appropriata risposta in frequenza (4,5-14 Hz), direzionali e dotati di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro; un sismografo multi-canale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale e di registrarle su memoria di massa;
- 2) un trasduttore (*trigger*) alloggiato nella sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.

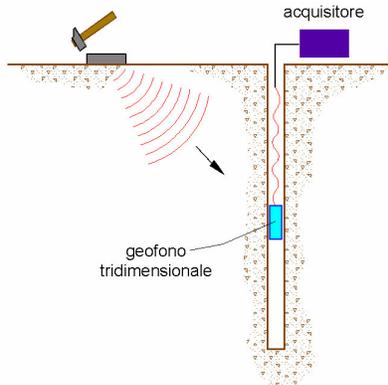


Figura 1 – Schema down hole ad un solo ricevitore

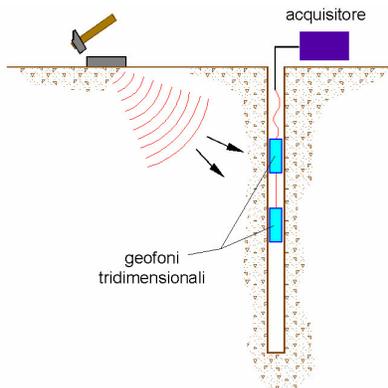


Figura 2 – Schema down hole a due ricevitori

Durante la perforazione, per ridurre l'effetto di disturbo nel terreno, i fori vengono sostenuti mediante fanghi bentonici e il loro diametro viene mantenuto piuttosto piccolo (mediamente 15 cm).

I fori vengono poi rivestiti mediante tubazioni, generalmente in PVC, e riempiti con una malta a ritiro controllato, generalmente composta di acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

Prima di ogni cosa, è però importante assicurarsi che il foro sia libero da strozzature e che il tubo di rivestimento non presenti lesioni.

La sorgente consiste in una piastra di alluminio che, dopo avere opportunamente predisposto il piano di appoggio, viene adagiata in superficie ad una distanza di 1,5 – 2,5 m dal foro e orientata in direzione ortogonale ad un raggio uscente dall'asse foro. Alla sorgente è agganciato il trasduttore di velocità utilizzato come *trigger*.

Se si dispone di due ricevitori, questi vengono collegati in modo da impedirne la rotazione relativa e da fissarne la distanza. Il primo dei due ricevitori viene raccordato ad una batteria di aste che ne permette

l'orientamento dalla superficie e lo spostamento. Una volta raggiunta la profondità di prova, i geofoni vengono orientati in modo che un trasduttore di ogni sensore sia diretto parallelamente all'asse della sorgente (orientamento assoluto). A questo punto i ricevitori vengono assicurati alle pareti del tubo di rivestimento, la sorgente viene colpita in senso verticale (per generare onde di compressione P) o lateralmente (per generare onde di taglio SH) e, contemporaneamente, parte la registrazione del segnale di *trigger* dei ricevitori. Eseguite le registrazioni la profondità dei ricevitori viene modificata e la procedura sperimentale ripetuta.

Interpretazione in down hole con il metodo diretto

Per poter interpretare il down hole con il metodo diretto, inizialmente, bisogna correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro (figura 3), r la distanza fra la sorgente e la tripletta di sensori, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione (1):

$$1.0) t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico $t_{corr} - z$ in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali (figura 4).

Ottenuti graficamente i sismostrati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i seguenti parametri:

coefficiente di Poisson medio:

$$2.0) \nu_{medio} = 0.5 \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

modulo di deformazione a taglio medio:

$$3.0) G_{medio} = \rho V_s^2$$

modulo di compressibilità edometrica medio:

$$4.0) E_{d\text{medio}} = \rho V_p^2$$

modulo di Young medio:

$$5.0) E_{\text{medio}} = 2\rho V_s^2 (1 + \nu)$$

modulo di compressibilità volumetrica medio:

$$6.0) E_{v\text{medio}} = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

Interpretazione in down hole con il metodo intervallo

Con il metodo intervallo i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due ricevitori consecutivi (figura 5) posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (*velocità d'intervallo*).

Quando si dispone di un solo ricevitore, cioè nell'ipotesi in cui le coppie non corrispondano ad un unico impulso, i valori di velocità determinati vengono definiti di *pseudo-intervallo*, consentendo solo un'apparente migliore definizione del profilo di velocità.

Ottenute le misure è possibile calcolare i tempi corretti con la 1.0) e la velocità intervallo delle onde P e S, con relativo grafico (figura 6), con la formula seguente:

$$7.0) V_{p,s} = \frac{Z_2 - Z_1}{t_{2\text{corr}} - t_{1\text{corr}}}$$

Ottenute le velocità intervallo si calcolano la densità, il coefficiente di Poisson, il modulo di deformazione a taglio, il modulo di compressibilità edometrica, il modulo di Young, il modulo di compressibilità volumetrica per ogni intervallo con le formule riportate sopra.

Il metodo intervallo presenta però dei limiti:

- a) non tiene conto della velocità degli strati sovrastanti;
- b) non è applicabile nel caso in cui $t_{2\text{corr}} < t_{1\text{corr}}$.

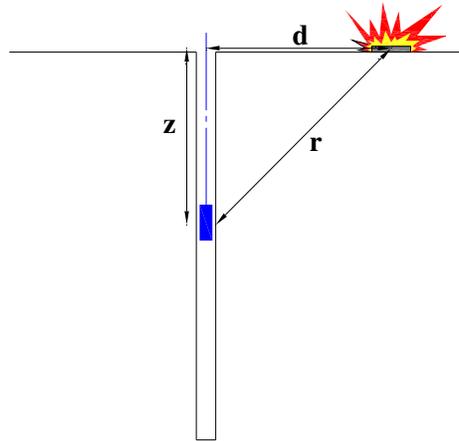


Figura 3 – Schema di down hole con metodo diretto

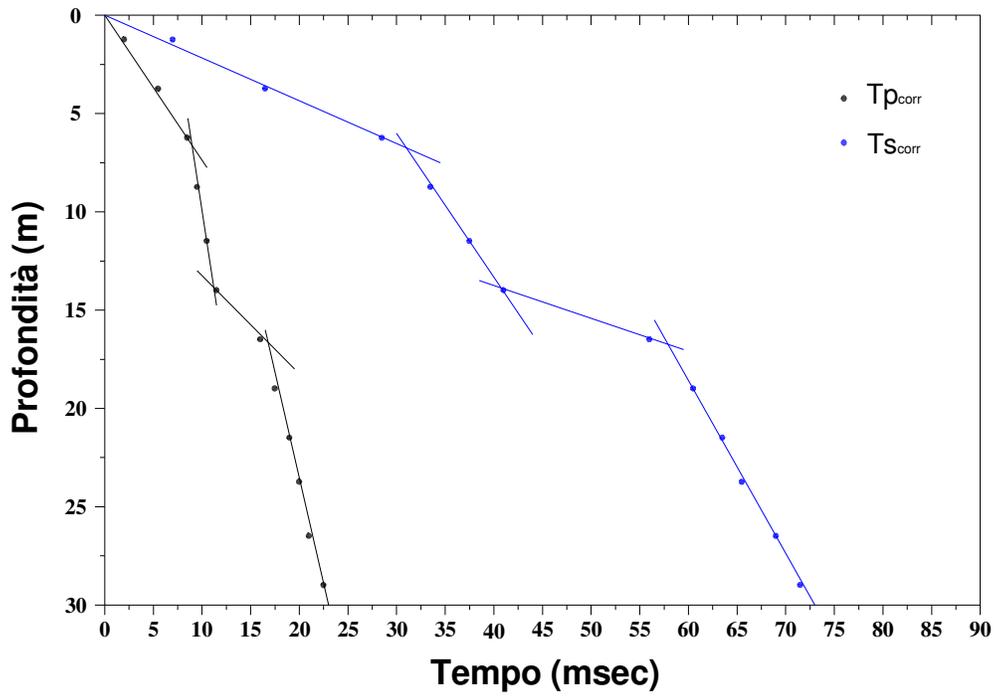


Figura 4 – Dromocrone

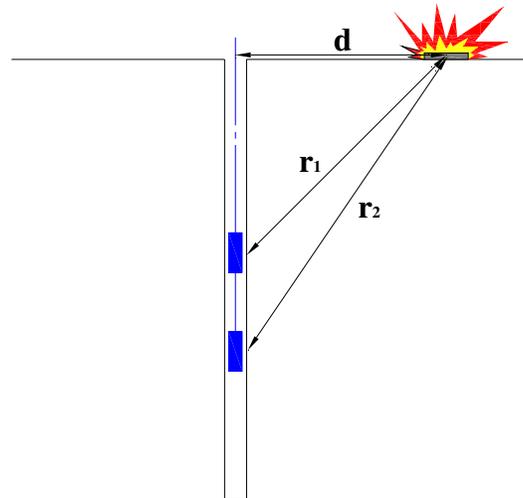


Figura 5 – Schema di down hole con metodo intervallo

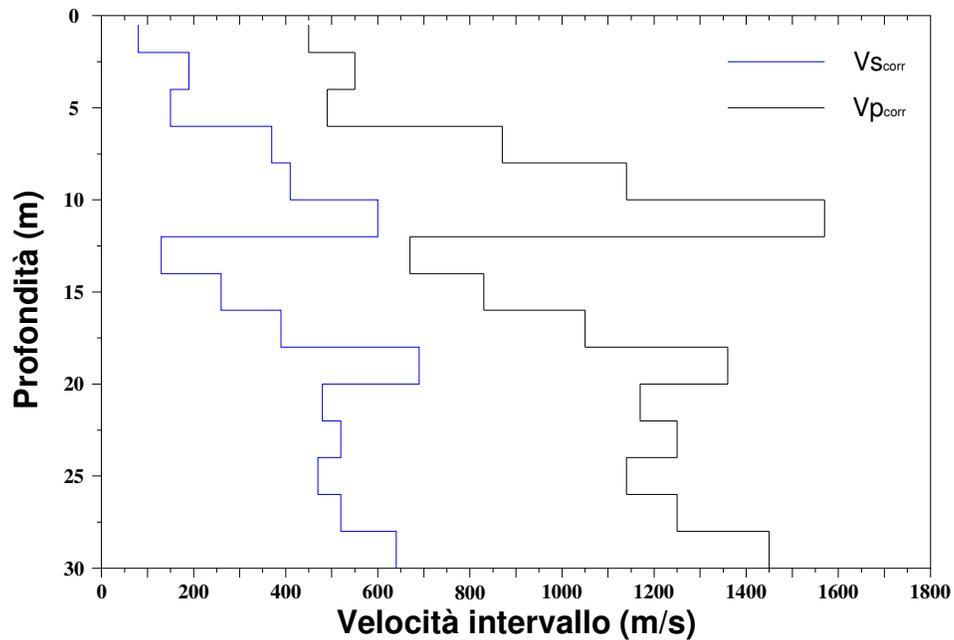


Figura 6 – Profilo delle velocità sismiche con metodo intervallo

Ambedue le procedure d'interpretazione sopra descritte sono comunque suscettibili di una critica fondamentale, cioè si basano sull'ipotesi che i percorsi delle onde siano rettilinei e coincidenti con quelli che collegano la sorgente ai ricevitori. Di solito ciò non è esatto, dato che, prima di giungere ai ricevitori, le onde subiscono fenomeni di rifrazione che ne modificano il percorso.

MISURAZIONI ESEGUITE E RISULTATI OTTENUTI

Dati iniziali

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
1,6	30	1	1

Dati misure down hole

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	1,00	5,80	11,00
2	2,00	6,70	11,70
3	3,00	10,00	15,00
4	4,00	11,00	18,00
5	5,00	12,50	22,00
6	6,00	15,00	25,00
7	7,00	16,00	25,50
8	8,00	17,00	27,50
9	9,00	18,00	29,00
10	10,00	18,50	31,50
11	11,00	19,00	33,00
12	12,00	19,50	34,00
13	13,00	21,00	35,50
14	14,00	21,60	36,80
15	15,00	22,00	38,20
16	16,00	23,20	39,00
17	17,00	23,50	43,00
18	18,00	24,00	44,00
19	19,00	24,50	46,00
20	20,00	26,00	48,00
21	21,00	26,50	49,00
22	22,00	27,20	50,00
23	23,00	28,00	50,80
24	24,00	28,00	51,60
25	25,00	29,00	52,20
26	26,00	29,30	53,00
27	27,00	29,70	54,50
28	28,00	31,40	56,30
29	29,00	30,40	57,00
30	30,00	31,10	58,20

Risultati

SR (m)	Tpcorr (msec)	Tscorr (msec)
1,8868	3,074	5,83
2,5613	5,2318	9,1362
3,40	8,8235	13,2353
4,3081	10,2132	16,7126

5,2498	11,9053	20,9533
6,2097	14,4935	24,1559
7,1805	15,5977	24,8589
8,1584	16,6699	26,966
9,1411	17,7221	28,5523
10,1272	18,2677	31,1044
11,1158	18,8021	32,6564
12,1062	19,329	33,7018
13,0981	20,8427	35,2341
14,0911	21,4603	36,562
15,0851	21,8759	37,9845
16,0798	23,0849	38,8065
17,0751	23,3966	42,8108
18,071	23,9057	43,8272
19,0673	24,4136	45,8378
20,0639	25,9172	47,8471
21,0609	26,4234	48,8584
22,0581	27,1284	49,8683
23,0556	27,9325	50,6775
24,0533	27,938	51,4857
25,0512	28,9408	52,0934
26,0492	29,2447	52,8999
27,0474	29,648	54,4046
28,0457	31,3489	56,2083
29,0441	30,3538	56,9134
30,0426	31,0559	58,1174

Metodo diretto

Profondità di riferimento: 30 m
VS30: 516 m/s

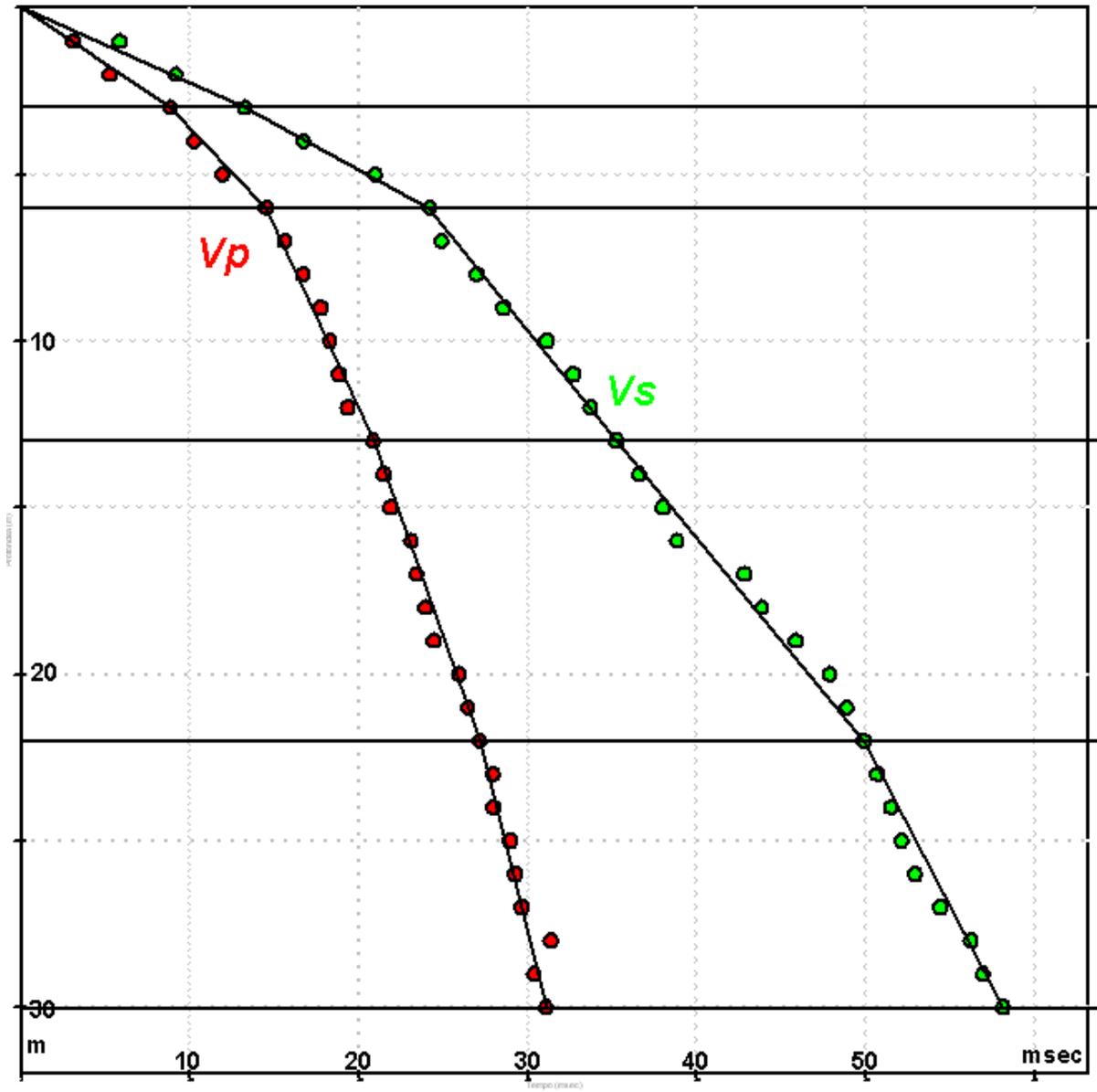
Sismostrati con metodo diretto

Descrizione (-)	Profondità (m)
Riperto e detrito di versante	3
Detrito di versante	6
arenaria	13
arenaria	22
arenaria	30

Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	γ medio (kN/mc)	ν medio (Poisson)
410	226	19,4	0,32
529	275	20,1	0,33
1195	632	22,2	0,32
1327	615	21,9	0,36
2045	975	23,5	0,35

Dromocrone



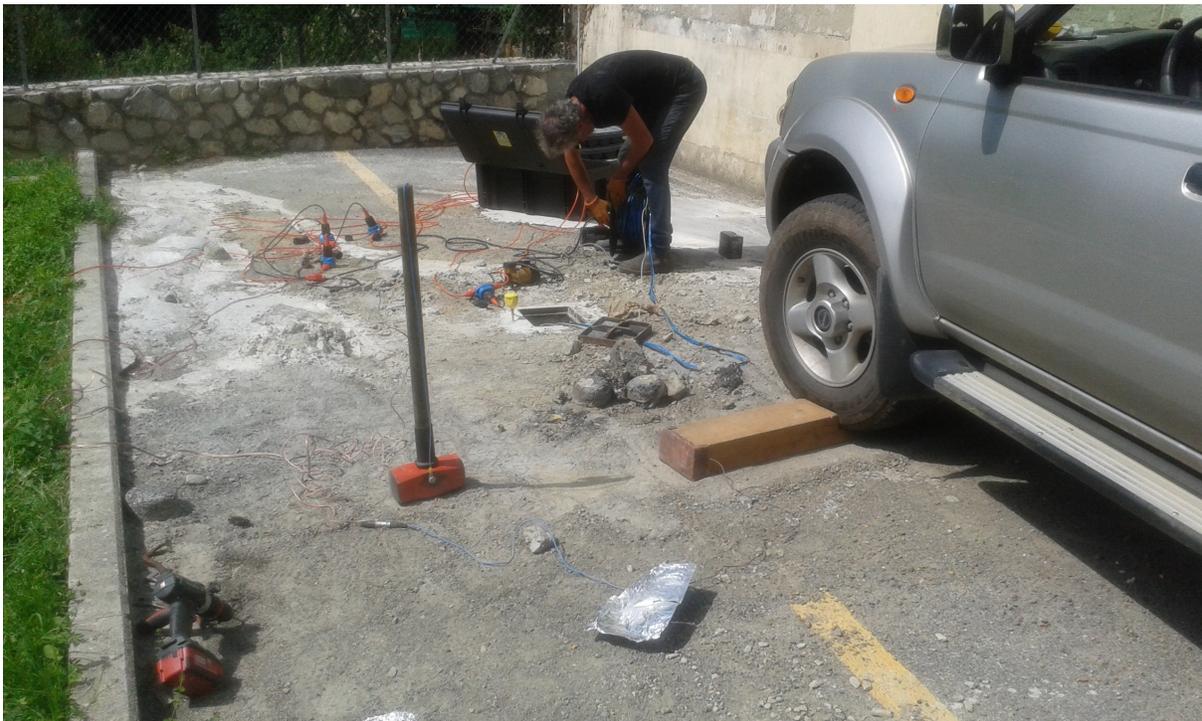
Poiché la v_s media dei terreni presenti dalla superficie fino a -6 m di profondità è circa 270 m/sec, mentre la V_s oltre 6 m di profondità è sempre superiore a 600 m/sec, esiste un forte contrasto di rigidità di cui si dovrà tenere conto nella valutazione dell'azione sismica di progetto.

Capannori, 18 settembre 2015

Il tecnico incaricato



Allegato fotografico



**INDAGINE SISMICA CON ONDE DI SUPERFICIE (MASW)
SVOLTA IN FRAZ. CALAMARI COMUNE DI PESCIA (PT)**



RAPPORTO INTERPRETATIVO

PREMESSA

Su incarico dello Studio Sigma è stata svolta una indagine sismica con analisi delle onde di superficie in adiacenza alla scuola dell'infanzia posta nella Fraz. Calamari, Comune di Pescia (PT), al fine di determinare il 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 24 con memoria dinamica a 24 bit, attrezzato con 12 dataloggers a 2 canali ciascuno, 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.

L'acquisizione è stata svolta in adiacenza al fabbricato oggetto d'intervento, come risulta nell'allegato fotografico visibile sul frontespizio, sfruttando al massimo lo spazio ivi disponibile con la seguente configurazione spaziale e temporale:

lunghezza stendimento compresi end-shot: 39 m

lunghezza stendimento geofoni: 33 m

n° geofoni: 12

distanza intergeofonica: 3 m

n° energizzazioni (shots): 2, a 0 m a 39 m

durata acquisizione 2000 msec

intervallo di campionamento 1 msec

n° di campioni per traccia 2000

max. frequenza campionabile 3000 Hz

L'elaborazione è stata svolta utilizzando il software Seisimager/Surface Wave analysis della OYO Corporation. Per l'analisi dei dati è stata utilizzata la registrazione effettuata in corrispondenza dello shot iniziale, a 0 m, ottenendo il profilo 1-D con il modello di velocità V_s descritto di seguito.

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:

- La V_s nei primi 6 m di profondità risulta circa compresa fra 218 e 315 m/sec, indicando la presenza di terreni dotati di una rigidità da moderata a media.
- A partire da circa 6 m di profondità è stato rilevato un rapido incremento della V_s , che passa a 550 m/sec, in ulteriore e progressivo aumento scendendo in profondità. Questo indica molto probabilmente il passaggio dai terreni di copertura al sottostante substrato litoide.
- La V_s aumenta con la profondità, tuttavia senza raggiungere 800 m/sec fino a 30 m.

Sebbene il numero dei geofoni utilizzato sia modesto, così come la lunghezza dello stendimento, il modello di velocità ottenuto e qui descritto presenta una elevata attendibilità fino all'interno del substrato litoide, per cui si può con buona approssimazione estendere i dati ottenuti fino a 30 m per ricavare il 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: **$V_{S30} = 486 \text{ m/sec}$**

Occorre rilevare che esiste un elevato contrasto di rigidità fra i terreni di copertura ed il bedrock, tali da poter generare fenomeni di amplificazione locale della sollecitazione sismica, per cui, nel caso si intenda giungere alla definizione dell'azione sismica di progetto mediante il metodo semplificato (categorie di suolo) è senza dubbio più appropriato adottare la categoria **E** ai sensi delle Norme Tecniche per le costruzioni.

Si rimane a disposizione per eventuali ulteriori chiarimenti.

Capannori, 16 dicembre 2014



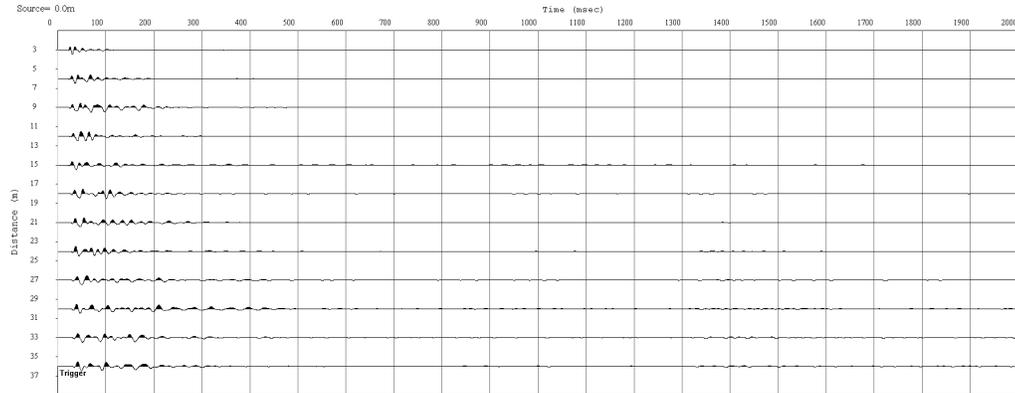
Allegati

Elaborati MASW:

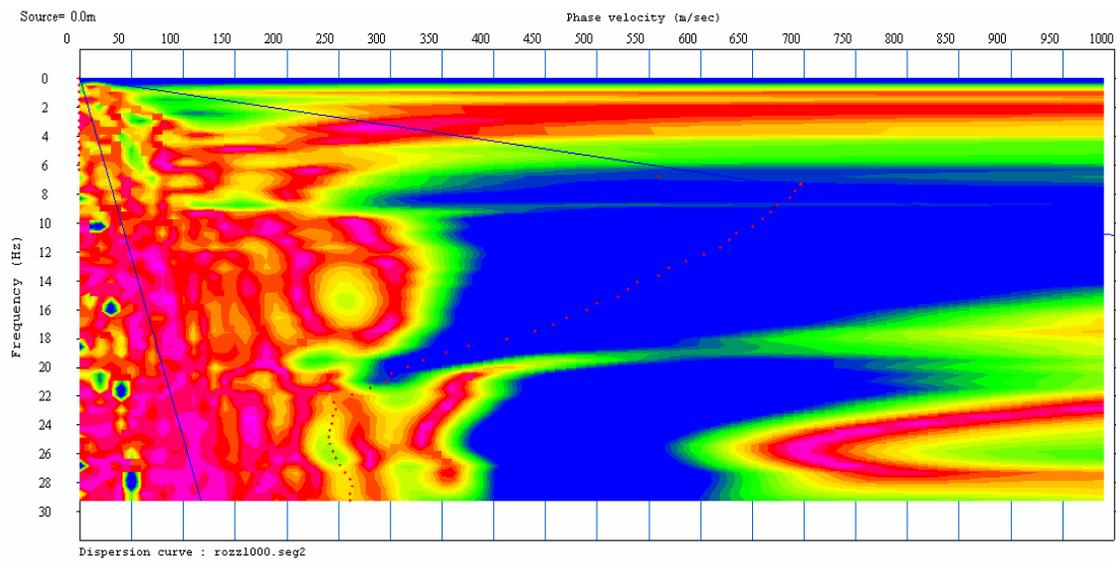
- 1) sismogramma registrato
- 2) spettro curva dispersione con picking,
- 3) confronto fra la curva di dispersione ottenuta dal picking e curva del modello generato dall'inversione
- 4) Modello Vs – profondità

ELABORATI MASW

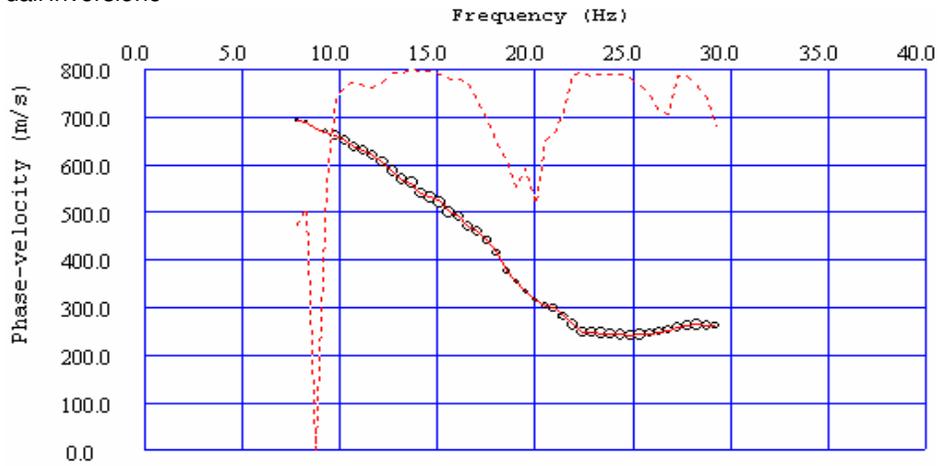
1) sismogramma registrato



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 = 486 m/sec

