PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

REGIONE TOSCANA

CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione sulle indagini

Regione Toscana

Comune di Abbadia San Salvatore



Regione	Soggetto realizzatore	data
REGIONE TOSCANA	Gruppo MS-CLE Amiata-Val d'Orcia Fondazione Parsec (Mandatario) Dott. Geol. Andrea Borri (Mandante) Ing. I. Luca Bechi (Mandante) Tecnico Responsabile: Dott. Geol. Andrea Fiaschi	Luglio 2018

INDICE

INTRODUZIONE pag. 4

1. PROSPEZIONE SISMICA pag. 4

2. MISURE DI MICROTREMORE SISMICO pag. 6

3. PROSPEZIONI ESAC-MASW pag. 8

INTRODUZIONE

Al fine di migliorare le conoscenze litostratigrafiche dei territori investigati è stata realizzata una campagna di indagini geofisiche basata su misure di microtremore sismico e prospezioni ESAC/MASW. A queste è stata aggiunta una prospezione sismica a rifrazione per migliorare ulteriormente le conoscenze su un'area di particolare interesse, priva di altre tipologie di indagine. La zona scelta per questo approfondimento è stata la zona artigianale della Val di Paglia.

In questo documento si riepilogano le caratteristiche della strumentazione utilizzata, le modalità operative e le procedure di elaborazione. I risultati e le interpretazioni sono invece l'oggetto di appositi paragrafi della Relazione Illustrativa.

1. PROSPEZIONE SISMICA

La prospezione sismica è stata eseguita in onde P e SH, con profili di 24 geofoni per 92 m di lunghezza, il sismografo impiegato è il Geometrics GEODE a 24 canali, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche:

- A/D Conversion: 24 bit;
- Dynamic Range: 144 dB;
- Distortion: 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz;
- Bandwidth: 1.75 Hz to 20 kHz;
- Common Mode Rejection: > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB;
- Crosstalk: -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms;
- Noise Floor: 0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz;
- Stacking Trigger Accuracy: 1/32 of sample interval;
- Maximum Input Signal: 2.8 VPP;

- Input Impedance: 20 kOhm, 0.02 uf;
- Preamplifier Gains;
- Anti-alias Filters: -3 dB at 83% of Nyquist frequency;
- Sample Interval: 0.02 to 16.0 ms;
- Record Length: 16,000 samples;
- Acquisition and Display Filters: LowCut, Notch, HighCut;
- Data Formats: SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali e orizzontali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile e, nel caso dei geofoni orizzontali, dotati di bolla livellante, con frequenza caratteristica di 10 Hz e 70% di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Come sorgente di energia sismica per le onde P, è stato fatto uso di una mazza da 8 kg che ha consentito di ottenere risultati ottimali. Per quel che riguarda la produzione di onde SH si utilizza invece una trave di legno di circa 2.00 m di lunghezza, la cui estremità viene colpita con una massa battente di ca. 10/15 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (ad esempio l'autovettura collocata con le ruote sulla tavola). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH. Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati in rifrazione, è stato il Generalized Reciprocal Method (GRM) e il delay-time method affinato mediante una serie di ray-tracing, ed un processo di aggiustamento con iterazioni successive che tende a minimizzare le discrepanze tra i tempi di arrivo misurati in campagna

ed il corrispondente modello di profondità. Terminata la fase preliminare di verifica dati, mediante la metodologia GRM, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interpretatore sono state elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti sono stati definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che ha permesso una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme.

2. MISURE DI MICROTREMORE SISMICO

Le misure di microtremore sismico sono state eseguite utilizzando come acquisitore un Tromino Engy Plus della Moho SRL (ex Micromed SpA). Lo strumento contiene al suo interno una terna di sensori sismici, disposti nelle 3 direzioni dello spazio, per l'acquisizione simultanea di tutte le componenti del moto. I segnali vengono acquisiti su 6 canali differenziati, nel dettaglio sono presenti:

- 3 canali velocimetrici a guadagno variabile;
- 3 canali accelerometrici;
- 1 canale analogico;
- ricevitore GPS.

Lo strumento è dotato anche di un modulo radio ricevente/trasmittente (per la sincronizzazione tra diverse unità in caso di acquisizione simultanee) e di un sistema di trigger radio (per prove MASW e simili). L'intervallo di frequenze operative è compreso tra 0.1 e 1024 Hz. L'alimentazione è costituita da due batterie stilo da 1.5 V.

Le modalità operative per l'esecuzione delle misure sono conformi a quanto richiesto nelle specifiche SESAME, in particolare si sono evitati i giorni di precipitazione e/o vento forte, lo strumento è stato poggiato con i piedini in dotazione direttamente sul suolo rimuovendo la copertura erbosa, ove presente, e orientandolo a Nord mediante bussola, dove possibile si sono evitate coperture asfaltate, lastricate o cementate.

Ogni misura ha rispettato gli standard previsti dagli indirizzi e criteri nazionali che prevedono l'integrazione dei criteri SESAME (2006) con indicatori di qualità della misura (Albarello e Castellaro, 2011). I dati raccolti sono stati analizzati mediante il software Grilla (vers. 6.2) della medesima azienda produttrice dello strumento, con ripulitura delle tracce dai disturbi transienti. L'elaborazione del rumore sismico acquisito è eseguita mediante la tecnica di Nakamura (1989), che consente una stima attendibile delle frequenze di amplificazione del moto sismico da parte dei terreni, basandosi sul rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e verticali dei microtremori. L'ampiezza dei picchi di amplificazione evidenziati è poi qualitativamente correlata all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente al passaggio tra

terreni con caratteristiche dinamiche differenti (Haghshenas et al., 2008).

Alcune misure, in accordo con la Regione Toscana, sono state ripetute su siti già esaminati con le precedenti. L'opportunità di eseguire misure ripetute rende possibile verificare la variabilità e l'affidabilità dei risultati in relazione alla grande mole di punti esaminati concordati nel disciplinare. In generale si è osservata una buona ripetibilità dei risultati, tuttavia, con l'esclusione dei casi in cui la variabilità rientra all'interno della deviazione standard della misura principale, ci sono misure per le quali si osservano differenze che possono rientrare nelle seguenti macrocategorie:

1) picchi che hanno mantenuto lo stesso valore in frequenza ma con diversa ampiezza del picco;
2) picchi spuri per rumore antropico;
3) picchi eccitati da condizioni ambientali particolari.

Nel primo caso la misura mantiene comunque inalterato il suo valore conoscitivo, nel secondo e nel terzo si è cercato di capire quale delle misure presentasse i migliori requisiti anche esaminando le caratteristiche spettrali delle singole componenti. In ogni caso nella carta delle frequenze è stata riportata la misura con la maggiore affidabilità.

3. PROSPEZIONI ESAC-MASW

Per l'esecuzione dei profili ESAC – MASW è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 canali con le medesime

caratteristiche di quello impiegato per la prospezione sismica e un sismografo MAE - X610S con le seguenti caratteristiche:

- Convertitori A/D: risoluzione 24 bit;
- Range dinamico: 144 dB (teorico);
- Distorsione massima: +/-0.0010%;
- Banda passante: 2Hz-30KHz;
- Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz;
- Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV;
- Precisione del trigger:1/30 del tempo di campionatura;
- Guadagno di preamplificazione: 24 e 36 dB;
- Delay: da 0 a 100 sec ad intervalli di 1 campione a passo;
- Tipo di guadagno: Automatico (AGC);
- Range massimo segnale in ingresso: +/-5V;
- Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo 20Mohm;
- Livelli di amplificazione: 0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB impostabili singolarmente per ogni canale o per gruppi di canali liberamente organizzabili;
- Filtro anti-alias: -3dB,80% della frequenza di Nyquist,-80dB;
- Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms;
- Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512;
- Canali: 24;
- Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione;
- Filtri digitali: selezionati automaticamente in base alla frequenza di campionatura;

- Test geofoni: verifica automatica per individuare interruzioni dei cavi oppure geofoni rotti o in corto;
- Archiviazione dati: in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile;
- Trigger: positive, negative (opzionale a chiusura di contatto) con soglia regolabile da software
- Formato dei dati: SEG-2 standard (32-bit long integer) o ASCII;
- Alimentazione: 12V DC;
- Display: LCD 12.2" con touch-screen integrato optical bonding.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "MAE" verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile da 4.5 hz. Le energizzazioni sono state eseguite con mazza battente da 10 kg a distanze pari a 5 e 10 m da entrambe le estremità dello stendimento.

La geometria utilizzata per le ESAC è a forma di "L" con lati asimmetrici. La lunghezza di ciascun lato è stata nella quasi totalità dei casi di m 80 x m 35 con spaziatura intergeofonica di 5 m, unica eccezione rappresentata dallo stendimento n. 19 di lati pari a 68 e 24 m con spaziatura intergeofonica di 4 m.

In tutti i profili al termine delle registrazioni con modalità ESAC, sul lato lungo della L è stato eseguito un profilo MASW utilizzando 12 geofoni distanziati ogni 5 metri (con l'eccezione della MASW n.19 che ha spaziatura di 4 m).

I parametri di acquisizione utilizzati per la registrazione delle ESAC sono i seguenti:

- tempo di acquisizione 33 m;
- frequenza di campionamento 250 hz;

Mentre i parametri di acquisizione utilizzati per la registrazione delle MASW sono stati i seguenti:

- tempo di acquisizione 2 s;
- frequenza di campionamento 1000 hz.

Per le interpretazioni è stato utilizzato il software commerciale WinMASW (versione Accademy 2018), che sfrutta i principi delle reti neurali per l'inversione delle curve di dispersione vincolando il modello sulla base delle informazioni al contorno fornite dall'utente oppure eseguendo inversioni congiunte con le misure HVSR. Le curve di dispersione delle ESAC sono state ottenute dopo aver valutato la qualità delle registrazioni di ogni singolo canale, considerando lo scostamento in termini di rumore medio tra un canale e procedendo all'eventuale esclusione del geofono con offset eccessivi.

Le curve di dispersione MASW sono state calcolate previo ritaglio manuale della traccia con una finestra centrata solo sulle onde superficiali acquisite, escludendo le tracce che non avessero registrato in maniera adeguata il segnale di interesse.

Tutte le interpretazioni sono state eseguite congiuntamente considerando sia la curva di dispersione ottenuta dalle ESAC si quella ottenuta dalle MASW. In numerosi casi è stata ottenuta un'unica curva di dispersione sulla quale è stato poi eseguito il picking manuale. Infine, tutte le inversioni sono state effettuate modellando il sottosuolo sulla base delle informazioni geologiche e stratigrafiche disponibili. In tutti i casi è stata tenuta in considerazione la misura HVSR più vicina, cercando di costruire un modello di partenza che fittasse al meglio il relativo spettro H/V.