

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA  
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI



**Corso di Laurea Specialistica in  
Geofisica di Esplorazione ed Applicata**



Anno Accademico 2007/2008

Candidato: **Macrì Giuseppe**  
Laurea Triennale: **Ingegneria per l'ambiente e il territorio**

Titolo della tesi

VSP Data processing for geothermal exploration

Relatore: **Bernasconi Giancarlo**  
Correlatore: **Mazzotti Alfredo**

Controrelatore: **Eusebio Stucchi**

Riassunto

Il Vertical Seismic Profile è un esperimento sismico realizzato utilizzando una sorgente posta in superficie e calando un geofono all'interno di un pozzo. La differenza principale rispetto alla sismica di superficie risiede essenzialmente nella diversa traiettoria che gli eventi diretti e riflessi assumono in una registrazione tempi-profondità. La separazione di questi eventi, presenti contemporaneamente e sovrapposti nei dati, assume un ruolo cruciale nell'elaborazione di dati VSP.

I prodotti principali che si ottengono con questo tipo di rilievi sono delle stime delle velocità di intervallo e le tracce sismiche contenenti le riflessioni ottenute alle differenti profondità acquisite nel pozzo. Utilizzando ricevitori multicomponente è anche possibile dare una stima della velocità delle onde S negli strati attraversati dal pozzo permettendo il calcolo dei rapporti  $V_p/V_s$ , molto importanti nella caratterizzazione ed esplorazione di possibili obiettivi nel sottosuolo.

Avendo la possibilità di ottenere una mappa ad alta risoluzione dei riflettori presenti nell'area attorno al pozzo, il VSP è uno strumento importante per eseguire correlazioni con la sismica di superficie. In particolare, questo è realizzato utilizzando l'outside corridor stack, un risultato dell'elaborazione VSP che rappresenta una traccia sismica, non contaminata da multiple, all'interno della quale sono presenti solo le riflessioni identificate durante il processing.

In aree geotermiche e in altri contesti, dove la geologia e la complessità strutturale del sottosuolo possono pregiudicare la qualità del dato sismico di superficie, il VSP, grazie alla

sua più elevata risoluzione, può essere molto utile nell'investigare in dettaglio strati e strutture altrimenti non identificabili.

In questo lavoro, dopo aver presentato la metodologia VSP, viene descritta l'elaborazione dei dati acquisiti all'interno dell'area geotermica di Travale, situata nel sud della Toscana. I dati, acquisiti mediante un rilievo near-offset utilizzando un airgun come sorgente sismica e un geofono a tre componenti come ricevitore, sono caratterizzati dall'anomalia di presentare eventi sismici, con ampiezza paragonabile a quelli registrati sulla componente verticale, anche sulle componenti orizzontali: di norma, in dati acquisiti con esperimenti near offset, queste componenti sono libere dal segnale in quanto, essendo la sorgente sismica posizionata molto vicino al pozzo, si assume verticale, o quasi, la propagazione del fronte d'onda compressionale generato da una sorgente di onde P come l'airgun. Questa anomalia sui dati permette di ottenere informazioni anche sulla propagazione delle onde S negli strati attraversati dal pozzo.

L'elaborazione standard dei dati è stata effettuata sia per la componente verticale che per quella orizzontale di massima energia, ottenuta ruotando le componenti orizzontali X e Y dalla loro direzione a quella sorgente/ricevitore. Dopo una fase iniziale di pre-processing, dove i dati sono stati preparati per essere elaborati, inizia il processing vero e proprio: l'analisi di velocità, ottenuta a seguito del picking dei primi arrivi diretti, e la separazione dei campi d'onda registrati sono i passi principali di tutto il processo di elaborazione. Il risultato a cui si giunge è un pannello integrato dove vengono comparate la stratigrafia, il profilo di velocità, il corridor stack e il dato sismico processato contenente solo gli eventi riflessi.

La stessa sequenza di processing è stata applicata ai dati deconvoluti: un operatore di deconvoluzione, direttamente ricavato dalla traccia della signature registrata da un idrofono vicino all'airgun, è stato applicato alle tracce in fase pre-stack, cercando di rimuovere la tipica firma di questo tipo di sorgente rimpiazzandola con una ondina a fase circa zero.

Dopo il processing VSP standard, è stata effettuata un'elaborazione avanzata per comprendere gli eventi a forte ampiezza presenti sulle componenti orizzontali di questi dati near-offset: l'analisi dell'energia, l'analisi delle velocità e l'analisi degli odogrammi sono stati essenziali nel ricostruire la dinamica degli eventi registrati, riconosciuti come di tipo S, probabilmente generati a seguito di una conversione di modo avvenuta direttamente all'interfaccia acqua/suolo della vasca all'interno del quale è immerso l'airgun.

La presenza di eventi, in questa sede denominati come "precursori", che anticipano nei tempi gli arrivi diretti sui canali orizzontali, spingono questo lavoro ad una ulteriore analisi. Queste onde sono state studiate per cercare di comprendere il meccanismo che le ha generate, probabilmente l'interazione delle onde con il casing del pozzo: la fine del casing è stata considerata come generatrice secondaria di onde sismiche che si propagano, attraverso le formazioni attorno al pozzo, sia verso la superficie che verso strati più profondi.

Il lavoro si conclude con l'interpretazione integrata dei risultati ottenuti tramite elaborazione convenzionale e non. Grande importanza viene attribuita al processing delle componenti

orizzontali: vengono comparati i rapporti  $V_p/V_s$  con il sonic log e la stratigrafia, in modo tale da dare un'interpretazione del sottosuolo utile per ulteriori esplorazioni di quest'area. In conclusione, per illustrare le potenzialità del metodo VSP, i risultati dell'elaborazione vengono inseriti all'interno del dato sismico 3D dell'area geotermica, sovrapponendo l'outside corridor stack ad una random line estratta seguendo la direzione del pozzo.