

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: **Angiò Stefano**  
Laurea Triennale: **Ingegneria delle telecomunicazioni - Politecnico di Milano**

Titolo della tesi

Inversione multicomponente di onde superficiali con tecnica  
*full waveform* e tramite indicatori di polarizzazione

Relatore: **Mazzotti Alfredo**  
Correlatore: **Chiappa Fabio**

Controrelatore: **Paolo Scandone**

Riassunto

L'inversione delle onde superficiali costituisce un efficace strumento di stima delle velocità delle onde di taglio relative agli strati più superficiali di una data area di studio.

Spesso l'inversione viene effettuata sfruttando le tipiche curve di dispersione dell'onda nel dominio frequenze-lentezze; questa strategia presenta però alcuni difetti, quali i possibili errori nel picking delle curve, la difficoltà a distinguere il modo di propagazione fondamentale e i modi superiori, nonché le ambiguità intrinseche del problema inverso.

Con questo lavoro mi propongo di esaminare alcune metodologie alternative di inversione delle onde superficiali: il metodo *full waveform* e un metodo originale basato su indicatori di polarizzazione. Quest'ultimo fa riferimento a tre diverse informazioni ricavabili considerando le componenti verticale ed orizzontale delle tracce sismiche come la parte reale ed immaginaria di una traccia complessa, di cui si possono quindi calcolare l'involuppo, la frequenza complessa e la fase complessa. Nel caso specifico di onde superficiali, l'involuppo fornisce un'informazione sull'energia dei modi di propagazione, la fase complessa costituisce un indicatore della direzione di polarizzazione dell'onda, mentre la frequenza complessa fornisce la velocità di variazione della direzione di polarizzazione. Relativamente a queste tre informazioni, il confronto ai minimi quadrati, teso alla costruzione delle funzioni oggetto, viene effettuato solo in corrispondenza dei massimi dell'involuppo, cioè dei modi più energetici del treno di onde superficiali.

Dopo una breve discussione sulle basi teoriche del problema, la prima parte dell'elaborato è dedicata all'inversione di un sismogramma sintetico attraverso l'esplorazione sistematica dello

spazio dei modelli e l'utilizzo di algoritmi di ottimizzazione. Il "dato osservato" è stato generato tramite un software di modeling basato sulla teoria della riflettività, che ha sintetizzato i sismogrammi delle componenti  $X$  e  $Z$  relativi ad un semplice modello a tre strati. Il confronto ai minimi quadrati tra questo dato e una serie di sismogrammi sintetici generati su una griglia regolare nello spazio dei modelli mi ha permesso di calcolare le funzioni oggetto in forma esplicita e localizzare il valore minimo di misfit. Questa procedura permette di valutare quale dei metodi utilizzati fornisca il risultato più prossimo al modello di partenza. L'applicazione di algoritmi di ottimizzazione locale è stata approcciata, sempre su entrambe le metodologie, affidandosi sia al metodo least-squares sia alla sua generalizzazione probabilistica (Tarantola A., 2004). Queste due strategie sono affette da forti problemi di convergenza causati dalla presenza di numerosi minimi locali; l'aggiunta di informazioni a priori probabilistiche permette però di costringere l'algoritmo, senza porre vincoli netti, a rimanere all'interno di un certo range di valori desiderati, e ha anche il vantaggio di smussare le funzioni oggetto in modo proporzionale alla deviazione standard del modello a priori, alleviando in parte il problema dei minimi relativi.

Nella seconda parte mi occupo invece della determinazione delle velocità di propagazione delle onde  $S$  del fondale marino e degli strati superficiali sottostanti a partire da dati Ocean Bottom Cable multicomponente relativi ad un'acquisizione nel Mar Caspio. Vista la difficoltà di convergenza degli algoritmi di ottimizzazione, l'inversione avviene tramite la sola esplorazione sistematica dello spazio dei modelli: l'osservazione delle funzioni oggetto in forma esplicita e la localizzazione dei loro minimi ha permesso di stimare le velocità delle onde  $S$  e gli spessori degli strati nell'area investigata. Dall'osservazione dei sismogrammi relativi alle soluzioni fornite dai due metodi è inoltre possibile osservare concretamente le problematiche che affliggono la strategia full waveform (difficoltà a sintetizzare le porzioni più lente dell'onda superficiale) e che invece non sembrano coinvolgere i metodi basati sugli indicatori di polarizzazione. I sismogrammi sintetici generati sulle soluzioni fornite dall'involuppo, in particolare, mostrano un ottimo grado di fitting col dato osservato. Il modello estrapolato fa riferimento ai primi 100 m di profondità, e mostra un forte incremento della velocità delle onde  $S$  a circa 25 m.

I futuri sviluppi di questo lavoro comprendono la definizione di algoritmi di ottimizzazione globali, che consentano al tempo stesso di convergere verso la soluzione senza subire l'effetto dei minimi locali e di evitare un'esplorazione alla cieca, estremamente impegnativa in termini di tempi di calcolo. Un'ulteriore ricerca potrebbe essere fatta sulla messa a punto di metodi di inversione congiunti, che tengano conto cioè, dei tre indicatori di polarizzazione contemporaneamente, dando ad ognuno una pesatura adeguata. Un tentativo in questa direzione è già presente in questo lavoro, ma necessita di raffinamenti. Anche l'inversione dei dati reali potrebbe infine essere migliorata con l'aggiunta di informazioni a priori (dati geotecnici o log di pozzo).