*UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA*
*DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA*

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

Anno Accademico 2012/2013

Candidato: **Gianfranco Aldorvardi**
Laurea triennale in: **Scienze Geologiche**

Titolo della tesi

# Caratterizzazione elastica di fondali marini mediante sismica a rifrazione e full waveform inversion applicata a dati di sismica a riflessione

Relatore: **Alfredo Mazzotti** Controrelatore: **Andrea Caiti**
Correlatore: **Mattia Aleardi**

Riassunto

Questo lavoro di tesi si propone di studiare le proprietà della parte superficiale dei fondali marini (200-300 m di profondità a partire dal fondo mare), mediante metodologie di Sismica a Rifrazione e Full Waveform Inversion (FWI) applicate a dati di sismica a riflessione. Queste tecniche vengono in primo luogo sperimentate per lo studio di tre diversi modelli geologici di fondo mare reperiti dal database dell' Ocean Drilling Program. I dati a disposizione sono gli spessori degli strati, le velocità delle onde sismiche compressionali P e le densità. A partire da queste due ultime quantità, tramite le formule di Hamilton, si possono ricavare le velocità di taglio S.

Per quanto riguarda la rifrazione, ho analizzato approfonditamente la cinematica dei first break, osservando in quale misura i parametri di profondità fondo mare, spessore e velocità dei vari strati influenzano le relazioni tempi-distanze di arrivo delle rifrazioni. Inoltre, utilizzando un caso di riferimento, ho analizzato in dettaglio le ambiguità del metodo e la funzione oggetto impiegata nella fase di inversione.

Lo studio della rifrazione ha permesso di osservare i limiti di tale metodo nell'indagine delle prime centinaia di metri di profondità in fondali marini. Tali limiti, ben conosciuti in letteratura, consistono nell'incapacità di individuare interfacce caratterizzate da inversione di velocità, strati sottili e/o a bassa velocità.

Passando alla simica a riflessione, ho valutato le potenzialità della tecnica FWI nella determinazione dello spessore e delle proprietà elastiche dei layers.

Il metodo FWI, sfruttando l'intero campo d'onda (comprendente l'informazione cinematica e dinamica) ed attraverso un processo di inversione iterativo, ricava informazioni quantitative circa le

proprietà fisiche dei mezzi, come le velocità delle onde compressionali e di taglio, VP e VS. Per non inserire ulteriori incognite nel problema di inversione (come, ad esempio, il Fattore di Qualità che, come noto in letteratura, risulta difficilmente stimabile) si è scelto di considerare i modelli totalmente elastici. Inoltre, essendoci limitati alle prime centinaia di metri di profondità del fondale marino, i modelli geologici sono considerati 1D, cioè le proprietà fisiche variano solo nella direzione della profondità.

Partendo da codici precedentemente sviluppati, è stato realizzato un codice di inversione iterativo basato su Algoritmi Genetici (GA) che mira a risolvere il problema di inversione tramite un processo di ottimizzazione della funzione di misfit ricavata dalla comparazione fra il dato osservato e un dato calcolato. Il problema diretto viene risolto utilizzando il metodo della riflettività.

In parallelo, vengono utilizzati i principi della Statistica Bayesiana per cercare di stimare le Densità di Probabilità a Posteriori (PPD) dei singoli parametri in gioco. Infatti, lo scopo di un'inversione non è solo quello di trovare un modello di best-fitting ma anche quello di caratterizzare l'incertezza del risultato di inversione.

Il lavoro di tesi svolto valuta le tecniche sopra descritte sia su dati osservati costituiti da sismogrammi sintetici che da sismogrammi reali.

I casi sintetici considerati sono tre: nel primo lo spessore degli strati e considerato incognito, mentre nel secondo e terzo caso l'incognita spessore è eliminata. La differenza tra il secondo e terzo caso, sta nel fatto che nel terzo viene aggiunto rumore random al dato osservato.

La stima dello spessore produce una sovra-parametrizzazione del problema provocando un'eccessiva dilatazione dello spazio dei modelli, l'aggiunta di ulteriori minimi locali e l'ambiguità legata a diverse possibili combinazioni di spessori e velocità che determinano la medesima risposta. In pratica, ciò aumenta significativamente la non linearità del problema inverso.

I risultati delle varie prove di inversione sui casi sintetici confermano quanto detto e la stima corretta degli spessori e delle velocità della stratificazione risulta praticamente impossibile. L'eliminazione del parametro spessore dal problema di inversione comporta un miglioramento nei risultati, in quanto si riescono a stimare i vari parametri e le relative PPD con maggior accuratezza. Questo viene nuovamente confermato anche nelle prove in cui viene aggiunto rumore al dato registrato.

Il dato reale analizzato proviene da una acquisizione sismica a riflessione eseguita, per conto della società ENI nel mare Adriatico centrale nel 1999.

Il sismogramma reale, consistente in un singolo *common shot*, viene continuamente confrontato con il dato calcolato nel problema diretto, a partire da un modello a strati costanti. Infatti, nell'inversione del dato reale, l'incognita spessore è eliminata attraverso l'imposizione di uno spessore costante determinato seguendo criteri di risoluzione a partire dalla frequenza centrale della forma d'onda.

Come noto da recenti lavori, uno dei problemi nel processo di inversione riguarda il match tra l'ondina reale e quella inserita nel calcolo dei sismogrammi predetti. Questa problematica costituisce un ambito di ricerca ampiamente discusso in letteratura ed in continuo sviluppo.

Nell'ambito di questa tesi si e cercato di risolvere parzialmente questo problema usando differenti criteri di misfit (ad esempio, utilizzando l'inviluppo delle tracce che permette di evitare la necessità di conoscere la fase della forma d'onda).
Al fine di vincolare e velocizzare l'inversione si è usato, come informazioni a priori, il campo di velocità VP a bassa risoluzione, ottenuto in un altro lavoro di tesi. Pur non avendo informazioni sperimentali dettagliate sulle VP e nessuna informazione sulle VS e sulle ρ del fondo mare, necessarie per una validazione definitiva del risultato di inversione, si osserva un modello stratificato con valori di VP, VS e ρ fisicamente plausibili che risultano da un buon match tra dato osservato e dato calcolato.
Per concludere la metodologia, seppur promettente nel caso di applicazione a dati reali, richiede ulteriori approfondimenti, test e convalide su altri dataset.