

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



Corso di Laurea Specialistica in  
Geofisica di Esplorazione ed Applicata



Anno Accademico 2010/11

Candidato: **Francesco Puccetti**  
Laurea triennale in: **Scienze Geologiche**

Titolo della tesi

Analisi e simulazione di onde superficiali di eventi rifratti su dati sismici reali  
e su modelli di superficie

Relatore: **Alfredo Mazzotti**

Controrelatore: **Gilberto Saccorotti**

Riassunto

Nell'ambito dei sondaggi sismici aventi come obiettivo la caratterizzazione dei livelli di terreno superficiali si lavora solitamente utilizzando le tecniche sismiche in foro (soprattutto down-hole) e le tecniche non invasive quali la sismica a rifrazione e la "Multi Channel Analysis of Surface Waves" (MASW). Ciascuna metodologia ha le proprie potenzialità ed i propri limiti che è necessario conoscere in modo tale da poter effettuare scelte operative ottimali al fine di giungere a risultati il più possibile affidabili.

Lo scopo di questa Tesi è quello di analizzare e simulare onde superficiali (precisamente onde di Rayleigh) ed eventi sismici rifratti su dati sismici reali e su modelli di superficie sintetici. I modelli sintetici sono stati calcolati mediante l'utilizzo di un software basato sul metodo della riflettività e che genera il sismogramma integrando le soluzioni della propagazione di un insieme di onde piane in mezzi stratificati elastici. Sia le informazioni necessarie per creare i modelli di riferimento, sia i dati sismici reali sono stati forniti dalla Regione Toscana e riguardano sei località ciascuna caratterizzata da una propria situazione particolare. A questi sei modelli ne sono stati aggiunti altri tre presi dalla letteratura scientifica specifica. Si hanno modelli con velocità crescenti, con inversioni di velocità, con forti o con deboli contrasti di velocità e con spessori assai variabili. La casistica affrontata è pertanto piuttosto ampia.

I dati relativi alle sei località toscane sono comprensivi oltre che dei file di acquisizione down-hole e sismica a rifrazione (sia onde P sia onde SH) anche di relazione tecnica e di rapporto di carotaggio.

Il primo passo è stato quello di analizzare le prove down-hole e i carotaggi di ciascuna località dai quali sono stati ricavati i parametri dei modelli, ovvero il numero di strati e per ciascuno di questi le

velocità  $V_p$ ,  $V_s$ , lo spessore e la densità. La descrizione dei siti e la costruzione dei modelli sono descritte nel capitolo 3.

Successivamente per ciascun modello sono stati calcolati i sismogrammi sintetici completi, ovvero relativi alla propagazione sia di onde di volume che di onde superficiali. Tali sismogrammi rappresentano, sia per la geometria dello stendimento sia per l'assenza di rumore e di altri elementi di disturbo presenti nei dati reali, il risultato ottimale per ciascuna situazione esaminata.

Per elaborare i dati, facendo anche uso di programmi già esistenti, ho creato un codice Matlab completo di interfaccia grafica in grado di caricare i sismogrammi (sia sintetici che reali), normalizzare le tracce, selezionare le porzioni di sismogramma interessate, filtrare i dati, calcolare Spettro di Ampiezza, Spettro F-K, Trasformata  $\tau$ -P, Trasformata F-P e il Modo Fondamentale Teorico. La generazione dei sismogrammi e la descrizione del mio codice di analisi sono illustrate nel capitolo 4.

Ho inoltre sviluppato un secondo codice Matlab in grado di calcolare la cinematica dei raggi rifratti, e quindi i punti di cross-over e i tempi intercetti tenendo in considerazione la presenza eventuale di inversioni di velocità, strati nascosti e strati sottili. Anche questa parte del lavoro è descritta nel capitolo 4.

L'analisi dei sismogrammi sintetici (capitolo 5), ed in particolare dei loro diagrammi di dispersione, mostra che il modo fondamentale in alcuni modelli è ben definito e relativamente di semplice interpretazione mentre in altri, nonostante le condizioni favorevoli, sono presenti difficoltà non indifferenti nell'individuare correttamente a causa della sua bassa energia e/o della presenza a volte predominante dei modi superiori.

Il confronto fra i diagrammi di dispersione del sismogramma sintetico e del dato reale per ciascun sito evidenzia una limitata corrispondenza fra i due tipi di dato e, a parte i casi più semplici, le difficoltà di interpretazione delle prove MASW. Tuttavia, in alcuni casi (nonostante le limitazioni dovute al fatto che le acquisizioni dei dati reali erano a scopo di sismica a rifrazione) c'è una buona corrispondenza in certe bande di frequenza, fra dati reali e dati sintetici.

Da questi risultati si evince la necessità di acquisire i dati in maniera corretta, ottimizzando al massimo gli strumenti disponibili ed in particolare il numero di geofoni e la loro spaziatura, il tipo di sorgente e il passo di campionamento temporale.

Stesso può dirsi per gli esperimenti di sismica a rifrazione: dato un modello di una determinata area, il codice da me elaborato consente di scegliere in fase di acquisizione la geometria più consona alla registrazione del maggior numero di eventi rifratti.

Dall'analisi dei dati reali sono emerse varie situazioni in cui una diversa parametratura di acquisizione avrebbe consentito di ottenere maggiori e più corrette informazioni sul sottosuolo esplorato (capitolo 6).

Infine, relativamente alle prove MASW si è notato come una diversa distanza della sorgente evidenzia nella curva di dispersione un diverso range di frequenze. Si può pensare quindi che ripetendo diverse acquisizioni utilizzando ciascuna volta offset diversi (e possibilmente tipi di sorgente diversi) e "sommando" tutti i risultati ottenuti si possa giungere a diagrammi di dispersione

più completi e più chiari, in cui siano meglio identificabili il modo fondamentale ed i modi superiori. Questa per adesso, alla luce dei primi risultati, potrebbe essere un'idea da approfondire insieme alle altre problematiche accennate per eventuali lavori futuri.