

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



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



Anno Accademico 2009/2010

Candidato: **Aleardi Mattia**  
Laurea Triennale: **Scienze Geologiche**

Titolo della tesi

Elaborazione numerica di dati sismici 3D acquisiti per esplorazione geotermica.  
Sviluppo e applicazione di un algoritmo Matlab ® per la pesatura del volume stack

Relatore: **Mazzotti Alfredo**  
Correlatore: **Tognarelli Andrea**

Controrelatore: **Eusebio Stucchi**

Riassunto

Questa tesi propone l'elaborazione di dati sismici 3D - acquisiti durante l'estate 2009 - nell'area geotermica di Larderello e precisamente nella zona di Chiusdino. Lo scopo della prospezione è la delineazione degli assetti strutturali profondi e l'individuazione di *marker* sismici associabili a potenziali zone fratturate. La complessità geologica, riscontrabile in tutta l'area, ha notevolmente influito sulla qualità dei dati e sulla difficoltà dell'elaborazione. Pertanto, il principale obiettivo di questo lavoro, è stato il miglioramento del rapporto segnale-rumore, in modo da ottimizzare la qualità dell'immagine sismica finale.

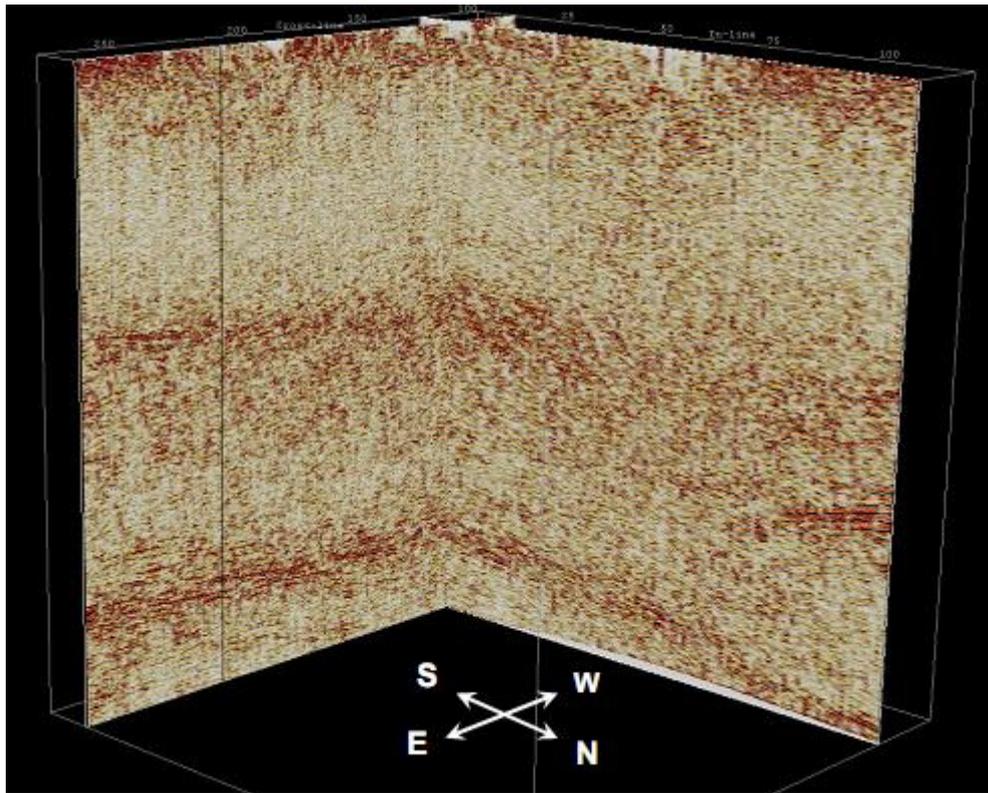
Il primo grande ostacolo nella fase di *processing* è stato la rimozione del rumore, in particolare quello coerente dovuto ad onde superficiali (*ground-roll*), il quale contaminava pesantemente i dati, soprattutto ad *offset* corti. Tale disturbo, dopo numerose prove, è stato rimosso attraverso un opportuno filtro tempo ed *offset* variante. Particolarmente efficaci, nel migliorare la qualità delle registrazioni, sono risultate le operazioni di deconvoluzione predittiva e deconvoluzione F-X, attraverso le quali sono state rimosse eventuali riverberazioni ed ulteriormente attenuati sia il *ground-roll*, che i disturbi incoerenti. Un'altra operazione particolarmente delicata è stata la correzione di ampiezza *surface-consistent*, il cui fine è quello di rimuovere dalle registrazioni le anomale variazioni di ampiezza dovute al diverso accoppiamento e/o efficacia delle sorgenti e dei ricevitori con il terreno. L'esito di tale operazione è stato condizionato sia dalla presenza di residui di onde superficiali ad *offset* corti, che della complessa geologia superficiale della zona indagata. L'analisi di velocità,

condotta anche tramite *constant velocity stacks*, si è rivelata, di gran lunga l'operazione più complessa al fine della realizzazione dell'immagine sismica tridimensionale. Essa è stata eseguita attraverso tre cicli iterativi successivi, i quali hanno condotto alla definizione di un campo di velocità ottimale per le successive fasi di *normal-moveout* e *stack*. Di fondamentale importanza è stata l'applicazione della correzione di *dip-moveout*, che ha condotto ad un sensibile miglioramento della qualità dell'immagine 3D.

Un ulteriore filtraggio passabanda, ed una deconvoluzione F-XY, precedono l'applicazione della migrazione 3D nel dominio dei tempi che, in dipendenza della campo di velocità stimato, cerca di collocare nelle corrette posizioni spazio-temporali i riflettori già visibili nel volume *stack*. I volumi *stack* migrato e soprattutto lo *stack* finali, mostrano una *facies* sismica più superficiale (compresa tra 0 e 1000 ms), fortemente contaminata da residui di *ground-roll*, che ostacolano il riconoscimento di eventuali riflessioni. Una seconda *facies* trasparente si colloca tra 1 e 2 secondi (2000-4500 metri di profondità), immediatamente al di sopra di un intervallo temporale (2000-4000 ms), nel quale sono visibili riflettori di media ampiezza e buona continuità laterale. In corrispondenza dei 4 secondi (circa 10 km di profondità) si nota, infine, una *facies* sismica molto riflettiva, caratterizzata da riflettori continui ed ad elevata ampiezza, riferibili al ben noto orizzonte "K".

Giunti alla sezione sismica *stack* finale, si è deciso di incrementare ulteriormente la qualità del risultato attraverso l'implementazione, in ambiente Matlab, di un algoritmo di pesatura dello *stack*. Tale programma, sviluppando ed adattando a dati 3D un precedente codice applicabile su acquisizioni 2D, effettua la pesatura dello *stack* assegnando ad ogni campione dei singoli CDP un peso, calcolato attraverso una cross-correlazione tra tracce adiacenti. Mediante il prodotto tra la matrice dei pesi e le ampiezze dei campioni, si cerca di enfatizzare le coerenze orizzontali, presumibilmente riflessioni, a discapito del rumore. Grazie all'applicazione di tale algoritmo si è giunti ad un notevole aumento del rapporto segnale-rumore nell'immagine *stack*: i segnali riflessi hanno incrementato le loro ampiezze e continuità e contemporaneamente, nella porzione più superficiale, si è delineato con chiarezza l'andamento di alcuni orizzonti.

Successivamente è stata affrontata l'analisi delle variazioni di ampiezza del segnale in funzione dell'*offset* (AVO) e lo studio degli attributi complessi, metodologie di fondamentale importanza nell'individuazione di riserve di idrocarburi, o *reservoir* geotermici. I risultati di queste operazioni, pur contaminati da residui di rumore (in particolare nella porzione più superficiale), hanno ribadito la presenza, nell'intervallo compreso tra uno e due secondi, di una zona priva di marcati contrasti di impedenza acustica estesi lateralmente. L'intervallo al di sotto dei due ed in particolare in corrispondenza dei quattro secondi, si conferma, invece, un interessante livello riflettivo, anche se posto ad elevata profondità.



*Immagine stack 3D ottenuta dopo l'operazione di pesatura e time variant scaling. In particolare si noti come la zona più riflettiva e quella più trasparente, localizzate rispettivamente al di sotto dei due secondi e tra uno e due secondi, si estendano per tutta l'area del rilievo sia in direzione in-line (orientata E-W) che in quella cross-line (disposta N-S).*