

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

Titolo della tesi

Sviluppo e applicazione di algoritmi per la localizzazione
di eventi microsismici quasi-superficiali

Relatore: **Zanzi Luigi**
Correlatore: **Arosio Diego**

Controrelatore: **Marchisio Mario**

Riassunto

Il lavoro presentato riguarda lo sviluppo e l'applicazione di algoritmi per segnali microsismici acquisiti in superficie al fine di localizzare la sorgente acustica sottosuperficiale. L'interesse per tale tipologia di elaborazione è legato alle sue possibili applicazioni, come ad esempio la localizzazione di superstiti sotto le macerie, di caverne o tunnel artificiali (tipo ex-miniere), di emissioni acustiche prodotte dell'espansione delle fratture in un ammasso roccioso instabile (nell'ambito del monitoraggio per frane di crollo), o di qualsiasi sorgente acustica sottosuperficiale localizzabile in un'area ristretta.

Uno degli algoritmi sviluppati si basa sull'identificazione dei primi arrivi tramite *picking* automatico, il quale può essere basato su differenti criteri. In questo caso il criterio utilizzato per il *picking* è l'identificazione del repentino aumento di energia tramite finestre che scorrono sull'intero record o traccia per traccia.

Infatti, l'algoritmo implementato per l'analisi del set di record da elaborare ha una duplice funzione: bidimensionalmente è stato utilizzato per suddividere i record caratterizzati dalla presenza di colpi multipli in colpi singoli, per poterli poi analizzare monodimensionalmente e delineare lungo tutto un record il tempo di primo arrivo e l'ampiezza massima per ogni canale.

L'obiettivo delle prime analisi effettuate utilizzando un array di ricevitori, era di ottenere mediante l'algoritmo l'indicazione sul geofono con il tempo di primo arrivo e il geofono con la maggior ampiezza per ogni singolo shot, anche in zone caratterizzate da mezzi fortemente disomogenei dove la propagazione del segnale elastico non è uniforme.

Per verificare l'efficacia dell'algoritmo implementato in ambiente Matlab, sono stati rielaborati 18 record acquisiti in una fortificazione scavata nella roccia facente parte della Linea Cadorna (Prealpi Lombarde), con l'obiettivo di localizzare mediante un algoritmo di veloce utilizzo il geofono più vicino alla sorgente, per un suo successivo utilizzo rapido in campo. Sono stati elaborati sia in modalità manuale che automatica, record singoli con trigger e record multipli senza trigger. Per i record triggerati è stato calcolato il tempo di primo arrivo, la velocità media dello strato attraversato, ed è stata ricavata una stima della lunghezza d'onda dall'analisi dello spettro in frequenza.

Infine, per tutti i record è stato effettuato un confronto in termini di errore tra il geofono individuato e il geofono realmente più vicino alla sorgente, derivando un errore di localizzazione tridimensionale per ogni shot analizzato.

In seguito, l'algoritmo è stato utilizzato anche in un'elaborazione effettuata allo scopo di localizzare con precisione il punto di massimo sviluppo verticale di una grotta situata nelle Alpi Apuane, molto estesa in lunghezza e di difficile accesso, che potrebbe consentire di effettuare uno scavo in modo da rendere possibile l'accesso alla grotta anche da parte di speleologi meno esperti (l'ingresso naturale della grotta e i gradi di difficoltà al suo interno rendono attualmente possibile l'accesso solo agli speleologi più esperti ed allenati).

Sono state effettuate due tipologie di acquisizione sismica: un'acquisizione di sismica a rifrazione per stimare la velocità degli strati superficiali e un'acquisizione con energizzazioni effettuate da parte di una squadra di due speleologi dall'interno della grotta, in modo da localizzare il punto più vicino alla superficie da cui eventualmente realizzare il nuovo accesso.

I dati di sismica a rifrazione consistono in 7 registrazioni acquisite con un sistema a 24 canali. I dati sono stati elaborati con un software che implementa il metodo GRM in ambiente Matlab. Per la localizzazione delle energizzazioni prodotte dagli speleologi sono stati acquisiti 45 record e l'energizzazione è stata effettuata in diverse posizioni dall'interno della grotta utilizzando un martello, sia con trigger (via radio) sia senza trigger. Le registrazioni sono state effettuate lungo due stendimenti di 24 geofoni ortogonali tra loro e con un geofono in posizione comune per poter successivamente combinare i record con ugual punto sorgente anche per le registrazioni effettuate senza trigger.

I dati sono stati analizzati tramite l'algoritmo di *picking* descritto in precedenza, determinando per ogni shot il geofono che riceve il primo arrivo e il geofono che registra l'ampiezza massima. È possibile in questo modo identificare il geofono più vicino per ogni sorgente e stimare una localizzazione anche per le posizioni di battuta con solo un'acquisizione. Il punto di maggior interesse è naturalmente il punto più alto della grotta, nel quale è stato eseguito il maggior numero di registrazioni.

In seguito, i record con ugual punto sorgente registrati sul cavo in posizioni ortogonali sono stati assemblati per poter determinare il punto sorgente con buona sensibilità sia in X che in Y, e sono stati elaborati tramite un algoritmo di cross-correlazione. I ricevitori utilizzati sono

47, di cui 3 posizionati in un piccolo scavo già tentato in passato. Utilizzando come campo di velocità il modello ottenuto dalla sismica a rifrazione, si è ricavata la distanza per ogni ricevitore dal punto sorgente: il luogo dei punti dove giace la soluzione per ogni ricevitore è una sfera centrata sul ricevitore stesso. Infine, incrociando le sfere ricavate, utilizzando un algoritmo di minimizzazione dell'errore ed escludendo le soluzioni non plausibili ottenute, si è quindi proceduto alla localizzazione finale del punto sorgente, considerando i risultati ricavati dal *picking* dei primi arrivi, dal geofono che registra l'ampiezza massima, dalla cross-correlazione e dal metodo delle sfere, e si è valutata l'incertezza da associare alla stima ottenuta.