

Diss. ETH Nr. 15652

**EARTHQUAKE SOURCE PARAMETERS IN THE  
ALPINE-MEDITERRANEAN REGION FROM SURFACE  
WAVE ANALYSIS**

A dissertation submitted to the  
*Swiss Federal Institute of Technology*  
*Zürich, Switzerland*

Dissertation for the degree of  
*Doctor of Natural Sciences*

presented by

**Fabrizio Bernardi**

Dipl. Natw. ETH

Born on June 30, 1973  
Citizen of Stabio - TI, Switzerland

Accepted on the recommendation of  
**Prof. Dr. Domenico Giardini**, examiner  
**Dr. Jochen Braunmiller**, co-examiner  
**Dr. Urs Kradofer**, co-examiner  
**Prof. Dr. Torsten Dahm**, co-examiner

2004

# Abstract

---

In this thesis, I present two methods to retrieve earthquake source parameters from regional surface wave data for moment magnitude  $M_w \geq 4.3$  earthquakes. The first method involves fast and fully automatic moment tensor (MT) computation. Automatization includes near real-time earthquake alert screening, data collection from near-real time accessible broad-band stations at regional distances ( $\Delta \leq 20^\circ$ ), MT computation, solution quality assessment and dissemination. The routine is triggered by events with magnitude  $M \geq 4.7$  in the European-Mediterranean region. MTs are computed using long period data with PREM synthetics. I tested various long period pass bands to evaluate the influence of location accuracy and of simple 1D synthetics on MT retrieval. The best fixed period band for the entire region is currently 50 – 100 s, because relatively few stations are near-real time accessible and often the quickly available locations are of low precision. To assess solution quality, the automatic results are compared with the independent, manually derived Swiss regional moment tensor catalog. Solutions are divided into three qualities. Near real-time application from April 2000 to April 2002 resulted in 38 quality A, with well resolved  $M_w$ , depth and focal mechanism, 21 B, with well resolved  $M_w$  and 28 unreliable quality C solutions. For  $M_w \geq 5.5$  we consistently obtained A solutions. Between  $M_w = 4.5 - 5.5$  we obtained quality A and B. In a second step, I significantly improved MT retrieval relative to the standard routine by selecting different period bands

---

for each station and component. The band width depends on the epicentral distance and on the signal-to-noise ratio of each period within each seismogram component. For events in the eastern Mediterranean Sea and the near East, the shortest period used is 50 s. For events in Europe, the short period cut-off varies from 35 s for close stations to 50 s for distant stations. Only periods that exceed a signal-to-noise ratio  $R_m$  are actually used. The use of shorter periods and removal of noisy data leads to an improvement of solution quality for  $4.3 \leq M_w \leq 4.7$  earthquakes. For events between May 2002 and September 2003 the new routine provided 20% more quality A solutions than the standard routine. Successful analysis of more smaller earthquakes with the new routine suggests to lower the currently implemented trigger magnitude from  $M \geq 4.7$  to about  $M \geq 4.3$ .

The second method retrieves seismic moment  $M_o$  directly from surface wave amplitudes recorded at regional distances. The amplitude-moment relation is derived from digital broad-band data of 18 earthquakes ( $3.9 \leq M_w \leq 5.1$ ) in and near Switzerland with independent  $M_o$  values. The amplitudes were measured at empirically determined, distance varying, reference periods  $T_\Delta$ . For amplitudes measured at  $T_\Delta$ , the distance attenuation term of the surface wave magnitude relation  $S(\Delta) = \log(A/T)_{max} + 1.66\log\Delta$  is independent of distance.  $M_o$  is then defined by  $\log M_o = S(\Delta) + 14.90$  assuming 1:1 scaling of  $\log M_o - M_S$ , which is true for  $M_S \lesssim 7.2$  in continental areas. Uncertainties of  $\pm 0.30$  for the 14.90-constant correspond to a factor of  $2M_o$  uncertainty, which was verified with independent data. This relation allows fast, direct  $M_o$  determination which can be applied to any earthquake. Re-calibration of the 14.90-constant, however, is probably required for other tectonic regions. I applied the amplitude- $M_o$  relation to determine  $M_o$  of 25 stronger 20<sup>th</sup> century events in Switzerland from analog data. The data recorded by early instrumental seismographs were collected from several European observatories. Amplitudes were measured from scans at large magnification and corrected for differences between  $T_\Delta$  and the actual measurement period. The resulting magnitudes range from  $M_w = 4.6$  to 5.8. The  $M_w = 5.8$  1946 event in the Valais was the largest 20<sup>th</sup> century earthquake. Magnitude uncertainties for the early-instrumental events are on the order of 0.4 units. The  $M_o$  estimates were then used for the up-date of the Earthquake Catalog of Switzerland to calibrate an intensity- $M_o$  relationship for pre-instrumental data. Accurate intensity- $M_o$  relations are fundamental for improved seismic hazard evaluations in regions characterized by moderate seismicity and by long recurrence times of larger events.

# Riassunto

---

In questo lavoro sono presentati due metodi, i quali, utilizzando onde di superficie, permettono di determinare i parametri della sorgente di terremoti regionali con magnitudine  $M_w \geq 4.3$ . Il primo calcola velocemente ed in maniera completamente automatica il tensore momento. Il processo di automatizzazione include l'analisi delle localizzazioni automatiche provenienti da diverse agenzie, la richiesta dei dati in tempo reale da stazioni a banda larga situate a distanza regionale ( $\Delta \leq 20^\circ$ ), il calcolo del tensore momento, la determinazione dell'affidabilità della soluzione e la sua pubblicazione (sul web e via e-mail). La procedura analizza ogni evento dichiarato con magnitudine  $M \geq 4.7$  e localizzato in Europa e nell'area mediterranea. I tensori momento sono calcolati usando dati reali a lungo periodo e librerie di sismogrammi sintetici calcolati con modello PREM. Sono stati testati diversi intervalli di periodo, focalizzando l'analisi sulla stabilità delle soluzioni in base alla precisione della localizzazione usata ed ai sismogrammi sintetici calcolati per un semplice modello 1D. La bassa affidabilità delle localizzazioni disponibili e l'ancora scarsa disponibilità di dati a banda larga in tempo reale evidenziano che l'intervallo compreso tra i 50 ed i 100 secondi risulta essere il più adatto per l'analisi dei terremoti nell'intera area europea e mediterranea. Il confronto dei risultati con un catalogo indipendente di soluzioni tensore momento ha permesso di stabilire le regole generali per determinare l'affidabilità delle soluzioni così ottenute. Quest'ultime sono state quindi divise in tre gruppi: soluzioni

di 'tipo A', con momento sismico  $M_o$ , profondità e meccanismo focale affidabili; soluzioni di 'tipo B', con il solo valore di  $M_o$  affidabile ed infine, soluzioni di 'tipo C', per cui nessuno dei tre parametri elencati può essere considerato affidabile. Durante il periodo compreso tra l'aprile 2000 e l'aprile 2002, la procedura ha ottenuto 28 soluzioni di tipo A, 21 di tipo B e 28 di tipo C. Per eventi con  $M_w \geq 5.5$  generalmente si sono ottenute soluzioni di tipo A, mentre per eventi con  $M_w = 4.5 - 5.5$  si sono ottenuti soluzioni di tipo A e B. In seguito la procedura è stata significativamente migliorata selezionando l'intervallo dei periodi in base alla distanza e al rapporto tra il segnale ed il rumore contenuto nei sismogrammi. Pertanto, eventi nel Mediterraneo orientale e nel vicino oriente sono stati analizzati con periodi compresi tra 50 e 100 secondi, mentre, quelli verificatisi in Europa, con il periodo più corto che varia tra i 35 s per le stazioni più vicine ed i 50 s per quelle più lontane. Inoltre sono stati utilizzati solo i periodi il cui segnale supera un determinato rapporto tra segnale e rumore,  $R_m$ . L'utilizzo di periodi più corti e la rimozione di sismogrammi contenenti rumore permettono un significativo miglioramento soprattutto per eventi con magnitudine  $4.3 \leq M_w \leq 4.7$ . L'analisi di eventi occorsi tra il maggio 2002 ed il settembre 2003 con la nuova procedura ha prodotto 66 soluzioni con qualità A, migliorando del 20% le prestazioni rispetto alla prima procedura. L'efficacia della nuova procedura suggerisce di spostare la magnitudine di soglia da  $M \geq 4.7$  verso  $M \geq 4.3$ .

Con il secondo metodo è possibile calcolare il momento sismico  $M_o$  direttamente dall'ampiezza delle onde di superficie. La relazione tra l'ampiezza ed il momento sismico è stata derivata utilizzando dati digitali di 18 terremoti ( $3.9 \leq M_w \leq 5.1$ ) occorsi recentemente in Svizzera e nelle zone limitrofe, per i quali esistono stime indipendenti del momento sismico ottenute tramite inversione del tensore momento. L'ampiezza delle onde di superficie è stata misurata con periodi di riferimento  $T_\Delta$  dipendenti dalla distanza e determinati empiricamente, cosicché il termine dell'attenuazione della magnitudine delle onde di superficie  $S(\Delta) = \log(A/T)_{max} + 1.66 \log \Delta$  non varia più rispetto alla distanza tra stazione ed evento. Assumendo un rapporto di 1:1 per l'espressione  $\log M_o - M_S$ , considerata valida per terremoti continentali con magnitudine  $M_S \lesssim 7.2$ , il momento sismico è di conseguenza definito dalla relazione  $\log M_o = S(\Delta) + 14.90$ . L'incertezza di  $\pm 0.30$  della costante 14.90 porta ad un fattore di incertezza di  $2M_o$ , verificato con dati indipendenti. Questa relazione permette di ottenere velocemente una stima di  $M_o$  per terremoti recenti ed è applicabile in ogni regione dopo aver ricalibrato la costante. L'applicazione a

---

sismogrammi registrati su strumenti meccanici ed elettromeccanici, raccolti in vari osservatori europei ha permesso di determinare il momento sismico di 25 terremoti verificatisi in Svizzera e nelle zone limitrofe durante il 20° secolo. Attraverso l'ingrandimento digitale delle immagini dei sismogrammi si è potuta effettuare una precisa lettura dell'ampiezza e del periodo. Questo è stato successivamente corretto rispetto al periodo di riferimento  $T_{\Delta}$ . Le magnitudini  $M_w$  ottenute risultano comprese tra 4.6 e 5.8, quest'ultima per il più forte terremoto avvenuto in Svizzera (1946, Vallese). L'incertezza della magnitudine determinata con questi strumenti è di circa 0.4. I valori di  $M_o$  ottenuti hanno permesso la calibrazione tra l'intensità ed il momento sismico per gli eventi pre-strumentali, utile all'aggiornamento del catalogo dei terremoti in Svizzera (ECOS). Precise relazioni tra il momento sismico e l'intensità sono fondamentali per ottenere stime affidabili del l'azzardo sismico in regioni a sismicità moderata e con lunghi tempi di ricorrenza.