

DISS. ETH Nr. 21098

**NUMERICAL SEISMOLOGY ACROSS THE SCALE: FROM EXPERIMENTAL
ACOUSTIC TO THE CORE-MANTLE BOUNDARY**

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZÜRICH

(Dr. sc. ETH Zürich)

presented by

Andrea Colombi

Master in Management Engineering, Università degli Studi di Brescia

born on the 13. July 1984

citizen of Italy

accepted on the recommendation of:

Prof. Dr. Domenico Giardini	ETH Zürich	examiner
Dr. Tarje Nissen Meyer	ETH Zürich	co-examiner
Dr. Lapo Boschi	Université Pierre et Marie Curie, Paris	co-examiner
Prof. Dr. Guust Nolet	Université de Nice	co-examiner

2013

Abstract

Numerical techniques are useful in a variety of problems in Seismology and Earth Sciences. Here we present two applications one at large scale and one at small scales that fully benefits from them.

The core-mantle boundary (CMB) is one of the most important global interfaces of the Earth, separating the solid silicate mantle from the fluid iron core. Its topography has not been characterized well yet, although it could provide precious insights about dynamics and thermal profile of the surrounding regions. Complex structures above and below are keys to understand past and future evolution of our planet. In this project, we aim to characterize the sensitivity of seismic waves due to CMB topography in terms of forward and inverse seismic modeling. Our study fully embeds the most recent developments of numerical seismology such as spectral element based waveform inversion and time-frequency seismogram analysis. In chapters 1 and 2 we use the adjoint method to compute sensitivity kernels combined with an efficient spectral-element code to integrate the wave-equation on the full Earth. Using large scale spectral element simulations, we analyse the effects on seismograms due to topography and/or 3-D mantle. In chapter 2 we use and study boundary sensitivity kernels to compute maps of the CMB first using synthetic data for a benchmark and later with real data. Following a similar theoretical, at the end of chapter 2, we introduce a volumetric inversion algorithm based on mantle sensitivity kernels that can be used for mantle tomography, and coupled to the CMB boundary inversions to set up a joint inversion mantle and CMB topography. In a second project, we show how large spectral-element simulations help disentangling the role of source, scattering and reverberations, using the ambient-noise technique to extract the Green's function on a laboratory experiment scale. This technique, which is revolutionary because it does not require earthquakes to infer Earth properties, is expected to be the source of data for global tomographic studies, like the one presented in the first two chapters. Making use of a thin aluminium plate where flexural waves propagates, we focus on the extraction of the coda which contains scattered waves and multiple secondary arrivals. In the study we also consider the influence of the source distribution and the diffusivity of the wave-field.

Sommario

I metodi numerici costituiscono un importante sussidio in molti problemi di sismologia e piú in generale, nelle scienze della terra. In questo lavoro ne presentiamo due esempi su scale molto diverse. Il primo rappresenta un problema a scala globale, mentre il secondo é su scala di laboratorio.

Il confine nucleo-mantello (CMB) é una delle piú importanti interfacce che caratterizzano la struttura interna della terra. Essa separa il mantello, composto prevalentemente da silicati dal nucleo esterno, composto da ferro liquido ad alta temperatura. La topografia di questa interfaccia non é ancora stata mappata in dettaglio ed i pochi studi effettuati evidenziano sostanziali differenze. Una piú approfondita conoscenza della sua topografia potrebbe permetterci di capire la dinamica, la composizione e la temperatura delle regioni che la circondano. Queste complesse strutture al di sopra e al di sotto, sono le chiavi per comprendere l'evoluzione del nostro pianeta. In questo progetto miriamo a caratterizzare la sensitività delle onde sismiche alla topografia del CMB sia dal punto di vista del cosí detto "problema diretto" che in un ottica tomografica ovvero, il "problema inverso". Il nostro studio é supportato interamente dalle piú recenti tecniche di calcolo agli elementi spettrali per il problema inverso e di analisi dei sismogrammi nel dominio del tempo o della frequenza. Nel primo e secondo capitolo utilizziamo "l'adjoint method" per calcolare i cosí detti "sensitivity kernels" utilizzando un efficiente codice agli elementi spettrali per integrare l'equazione d'onda. Attraverso delle simulazioni ottenute su potenti centri di calcolo analizziamo gli effetti sui sismogrammi dovuti alla presenza di topografia e strutture 3-D nel mantello. Nel secondo capitolo utilizziamo e studiamo "kernels" sensibili alla topografia, per ottenere delle mappe del CMB, invertendo prima dei dati sintetici come benchmark e in seguito dati reali. Utilizzando una teoria e degli algoritmi simili a quelli usati per kernels per la topografia, alla fine del secondo capitolo, introduciamo i kernels sensibili alle eterogeneità del mantello utili per ottenere immagini tomografiche del mantello e per essere accoppiati a quelli per la topografia in una cosí detta "joint-inversion". In un secondo progetto, che occupa per intero il terzo e ultimo capitolo, utilizziamo le tecniche della sismologia computazionale, (elementi spettrali in particolare) per capire come la funzione di Green viene estratta in un esperimento di acustica in laboratorio basato sull'ambient-noise interferometry. Questa tecnica, rivoluzionaria in quanto non richiede terremoti per ricavare le proprietà del mezzo al contrario della sismologia tradizionale, sembra essere la piú promettente fonte di dati per la tomografia globale (ad esempio nell'argomento trattato nei primi due capitoli) negli anni a venire. Utilizzando come mezzo di propagazione una piastra di alluminio sottile e limitata in cui vengono generate "onde flessurali", studiamo l'estrazione della coda della funzione di Green che contiene lo scattering e gli arrivi successivi al primo. La ricostruzione dello scattering é rimasta finora incompleta in esperimenti numerici e di laboratorio, questo lavoro ne completa la trattazione.