



## Doctoral Thesis

# **Beyond earthquake sources the effects of earth structure on ground shaking in the era of broad-band simulations**

**Author(s):**

Imperator, Walter

**Publication Date:**

2012

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007575038> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 20338

**Beyond earthquake sources:  
the effects of Earth structure on ground shaking  
in the era of broad-band simulations**

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES

presented by  
WALTER IMPERATORI

Laurea in Geofisica,  
Università degli Studi di Trieste  
born December 19, 1982  
citizen of Italy

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Domenico Giardini, examiner

Prof. Dr. Martin Mai, co-examiner

Prof. Dr. Klaus Holliger, co-examiner

Prof. Dr. Ralph Archuleta, co-examiner

Dr. Luis Dalguer, co-examiner

2012

# Estratto

I terremoti rappresentano uno dei rischi naturali piú pericolosi per la societá moderna. Una veloce crescita demografica e lo sviluppo di grandi aree urbane in regioni sismicamente attive hanno aumentato il rischio sismico a livello mondiale. Accurati studi di valutazione del rischio sismico possono portare ad un impiego intelligente ed efficiente delle risorse economiche e quindi, assieme al design sismico delle strutture e ad appropriati metodi di costruzione, sono di fondamentale importanza per la mitigazione del rischio sismico stesso.

Un passo essenziale negli studi di valutazione del rischio sismico e' rappresentato dalla stima del moto del suolo per una certa regione. Uno strumento conveniente per realizzare tale compito é costituito dalle equazioni predittive del moto del suolo (GMPEs), molto diffuse in ingegneria sismica. Queste equazioni predittive sono modelli empirici basati su dei database di limitate dimensioni che coprono un' ampia gamma di magnitudo, e che cercano di catturare le caratteristiche essenziali di un fenomeno complesso come il moto del suolo. Le GMPEs piú avanzate considerano parametri per il tipo di faglia, gli effetti di direttivitá e di *hanging-wall*, specifici effetti di sito e nonlinearitá. Sebbene ampiamente utilizzate nella pratica ingegneristica, é stato oramai documentato che l'accuratezza della stima del moto del suolo attraverso parametri scalari puó essere piuttosto limitata. Questo risulta essere particolarmente vero nelle aree vicino alla sorgente sismica, dove modelli generici possono risultare inadeguati per via della forte variabilitá e complessitá del moto del suolo.

I contributi dati da una rottura incoerente del piano di faglia, la propagazione attraverso mezzi fortemente eterogenei e le risposte di sito nonlineari possono sommarsi e dare origine a irregolaritá significative osservate nelle serie temporali. Inoltre, a causa della complessitá di come questi fattori si possono combinare, i loro effetti sono strettamente dipendenti dalla particolare configurazione sorgente-mezzo-sito. Ne consegue che il miglior modo per descrivere il moto del suolo nei pressi della faglia é attraverso sismogrammi sintetici.

Tecniche ibride a banda larga, capaci di combinare la componente deterministica e stocastica della propagazione delle onde, rappresentano oggi la nuova frontiera negli studi di valutazione del rischio sismico. La loro popolarità deriva anche dall'aumento dell'utilizzo delle tecniche di analisi nonlineari per la valutazione della risposta delle strutture a fronte di forti futuri eventi sismici, che richiedono serie temporali complete. Ad ogni modo lo sviluppo di tecniche affidabili presuppone una conoscenza dettagliata dei processi che governano la generazione e la trasmissione dell'energia ad alta frequenza. Allo stato attuale tale conoscenza è ancora limitata.

Lo scopo principale di questa tesi è quello di investigare gli effetti delle caratteristiche del mezzo di propagazione sullo scuotimento del suolo ad alta frequenza. Questo è ottenuto in tre modi: a) sviluppando una nuova metodologia per il calcolo di sismogrammi sintetici ibridi a banda larga dove la componente stocastica sia governata da un meccanismo di scattering basato sulla fisica e dipendente dalle caratteristiche del modello di velocità; b) quantificando e comparando la variabilità dello scuotimento del suolo indotta da diversi modelli di velocità 1D con la variabilità associabile alla sorgente sismica; e c) esplorando gli effetti della propagazione in mezzi 3D caratterizzati da eterogeneità distribuite casualmente attraverso simulazione deterministiche a banda larga (0-10 Hz) del moto del suolo.

# Abstract

Earthquakes represent one the most dangerous natural hazards for the modern society. Fast population growth and development of large urban areas in seismically active regions have increased the seismic risk worldwide. An accurate seismic hazard assessment (SHA) can lead to intelligent and efficient employment of economical resources and therefore, together with seismically safe design and proper construction methods, is of fundamental importance to mitigate the seismic risk.

An essential step in SHA is the estimation of the expected ground motions in a given region. A convenient tool to accomplish such task is represented by ground motion prediction equations (GMPEs), as used in the seismic engineering community. These prediction equations are empirical models, based on databases of limited earthquake recordings spanning a wide magnitude range, that try to capture under a simple functional form the essential features of a complex phenomenon like ground motion. The most advanced GMPEs include parameters to account for faulting style, directivity and hanging-wall effects, specific site conditions and nonlinearity. Although widely utilized in the engineering practice, it has been recognized that the accuracy of ground-shaking estimates through scalar parameters may be rather limited. This is particularly true in the near-source region where generic models can fail due to the peculiar strong variability and complexity of ground motions.

The contributions of incoherent rupture process over complex faults; propagation through highly heterogeneous media; and nonlinear site response can sum up and origin the significant irregularities observed in recorded time-series. Moreover, due to the complexity of how these factors combine, their effects result strictly dependent on the particular source-medium-site configuration. It follows that the best way to reliably capture the ground motion character in the fault proximity is via synthetic seismograms.

Hybrid broadband techniques, able to combine the deterministic and the stochastic component of wave propagation, represent nowadays the new frontier in SHA. Their popularity is also a consequence of the increasing usage of non-linear analysis techniques in the evaluation of structural response and damage from future large earthquakes, which require complete time-series. However, the development of reliable techniques demands a detailed knowledge of the processes governing the generation and the transmission of high-frequency energy. At the present time such knowledge is still limited.

The main goal of this thesis is to investigate the effects of the propagation medium characteristics on ground shaking at high-frequency. This is pursued in three ways: a) by developing a new methodology to calculate hybrid broadband synthetic seismograms where the stochastic component is governed by a scattering physics-based process depending on the velocity model parameters; b) by quantifying and comparing the ground shaking variability induced by different 1D velocity models with the variability associable to the seismic source; and c) by exploring propagation effects in 3D media with randomly distributed velocity heterogeneities by means of broadband (0-10 Hz) deterministic ground motion simulations.