



# Tecniche di simulazione di sismogrammi sintetici: metodi e applicazioni

---

**Giornata di lavoro INGV- Eucentre**

*Milano, 30 Marzo 2007*

# SCOPO

---

In che modo possono essere utilizzate le tecniche di simulazione del moto sismico per fini ingegneristici?

---

# Problematiche

---

## Tecniche di simulazione

- Tecniche deterministiche
- Tecniche stocastiche
- Tecniche broad band

## Fase di calibrazione

Come stimare i parametri da utilizzare nei modelli?

## Fase di validazione

Come valutare la "bontà" del moto simulato sia in termini di time series che in termini di spettri di risposta?

## Fase di previsione del moto

Che cosa calcolare, come fornire i risultati?

---

# Tecniche di simulazione

---

Si utilizzano modelli numerici per simulare eventi del passato (calibrazione e validazione) e per predire il moto del suolo relativo ad eventi futuri.

## Metodi

Tecniche stocastiche a sorgente puntuale ed estesa (alta frequenza; accelerazione e velocità, siti in far field)

Tecniche deterministiche (bassa frequenza, velocità e spostamento, siti in near source)

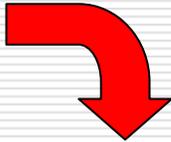
Tecniche broad band (alta bassa frequenza; frequenza di transizione tra modello deterministico e stocastico)

Tecniche basate sulle Green function empiriche (funzionano bene ma servono registrazioni di piccoli eventi)

---

Comparison between LF and HF PSV response spectra

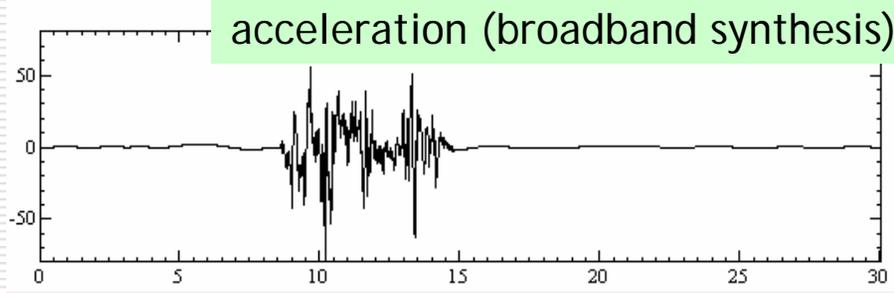
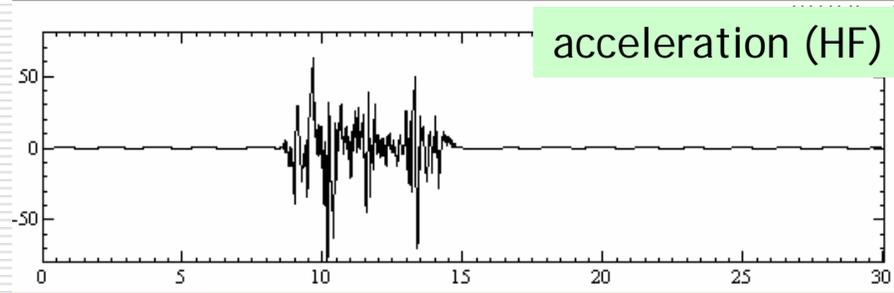
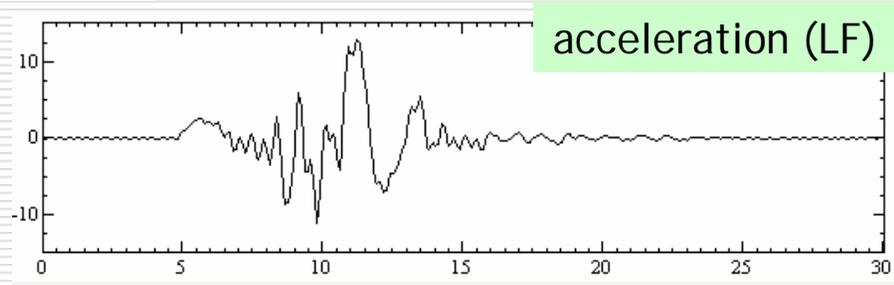
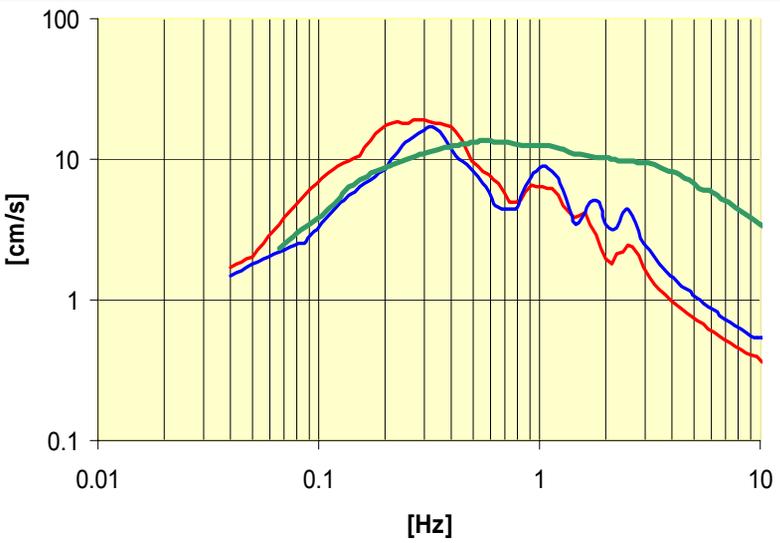
**Broadband synthesis**



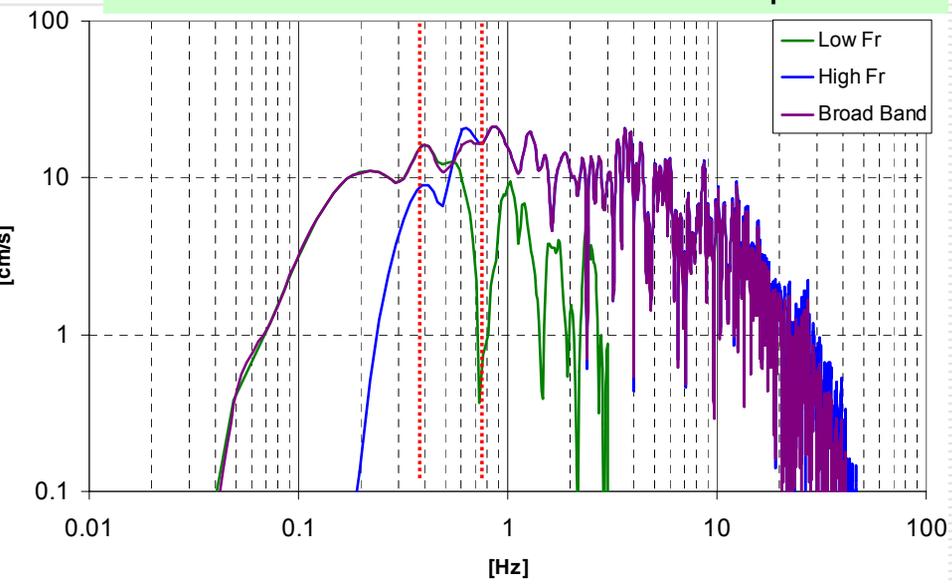
LF simulations are higher than HF simulation for  $f < 0.5$  Hz



Broadband synthesis between 0.4 and 0.6 Hz



broadband acceleration: Fourier spectrum



# Registrazioni accelerometriche

---

I recenti forti terremoti registrati nel mondo confermano la grande variabilità del moto.

In particolare hanno mostrato che in generale in siti localizzati:

1. molto vicino alla faglia
2. in posizioni direttive rispetto alla propagazione della rottura
3. sul tetto della faglia
4. su terreni soffici

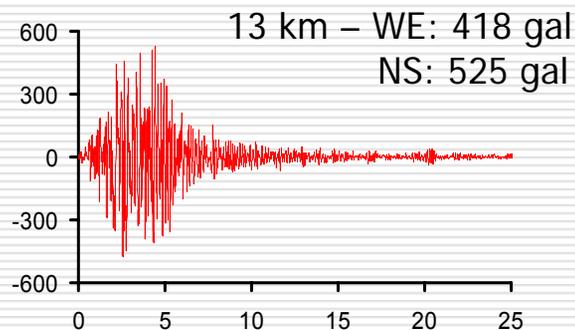
Il moto ha caratteristiche (ampiezza, contenuto in frequenza e durata) molto diverse dagli andamenti medi attesi

Anche in Italia si osservano casi analoghi, anche nel caso di terremoto moderati

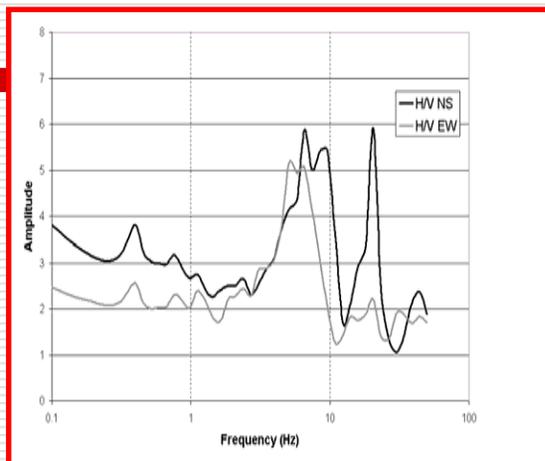
---

# Effetti di sito o di sorgente?

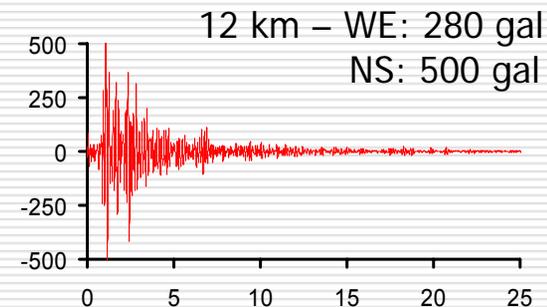
26 Settembre 1997, 9:40  
M 5.9



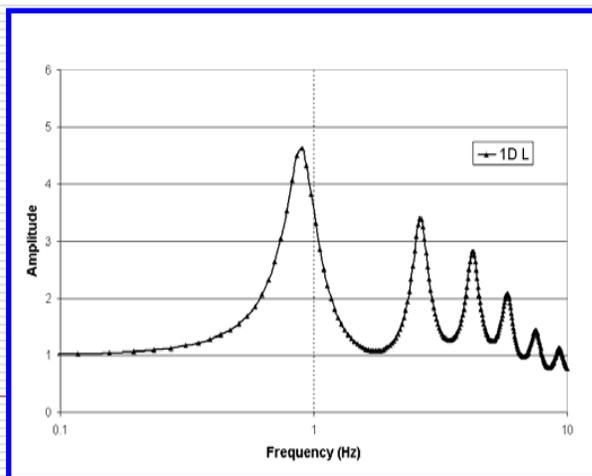
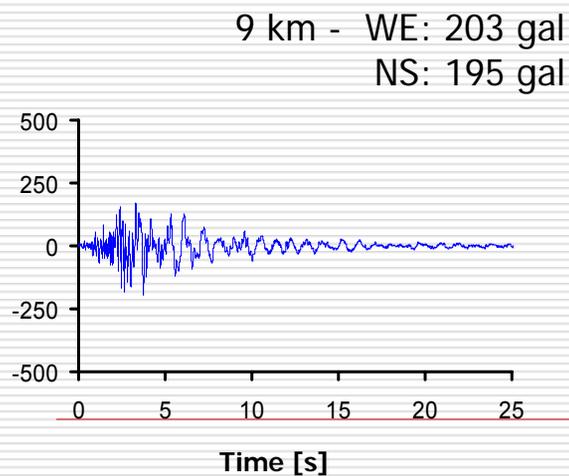
NOCERA UMBRA



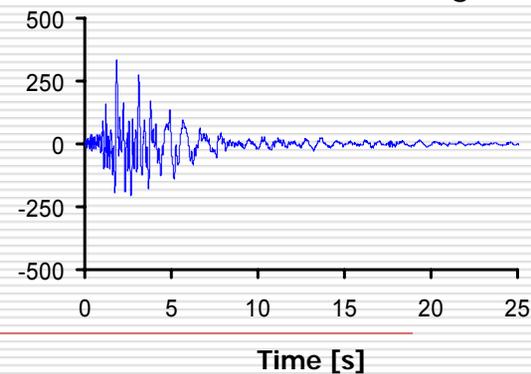
26 settembre 1997, 00:33  
M 5.6



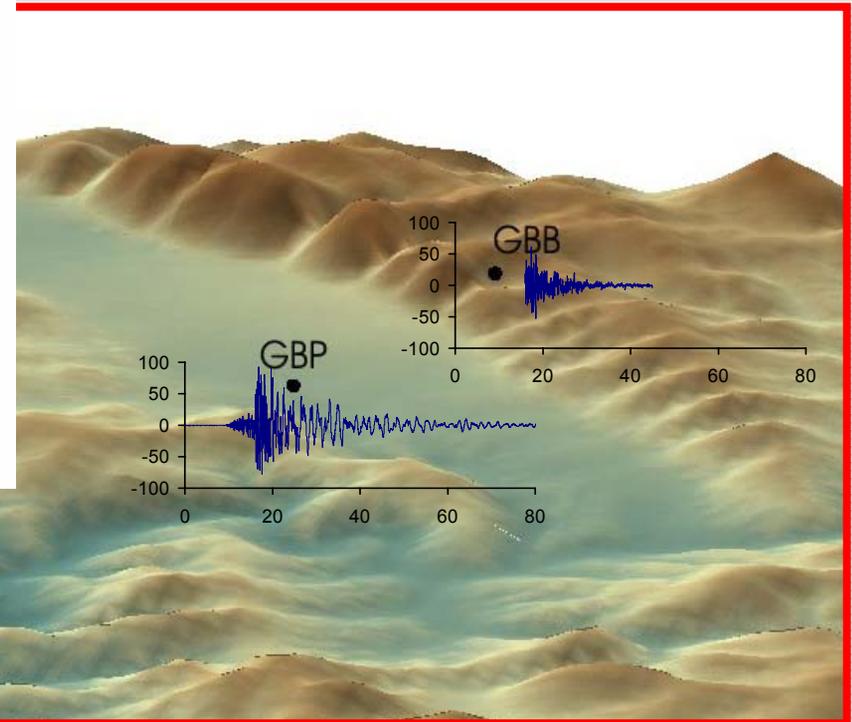
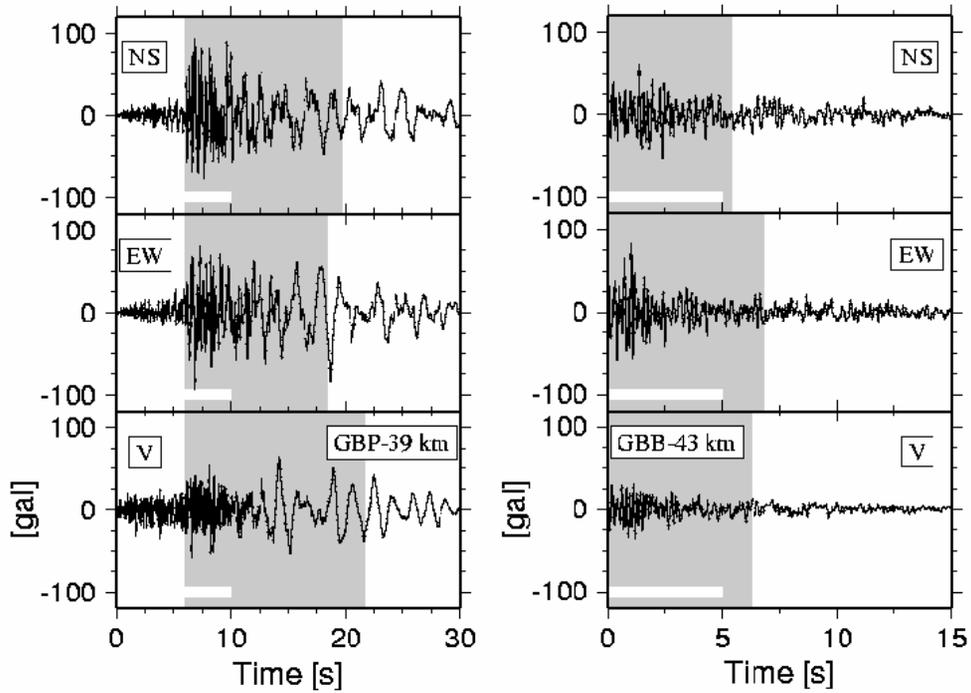
COLFIORITO



7.5 km – WE: 260 gal  
NS: 330 gal



# Effetti di sito



Finestra S 

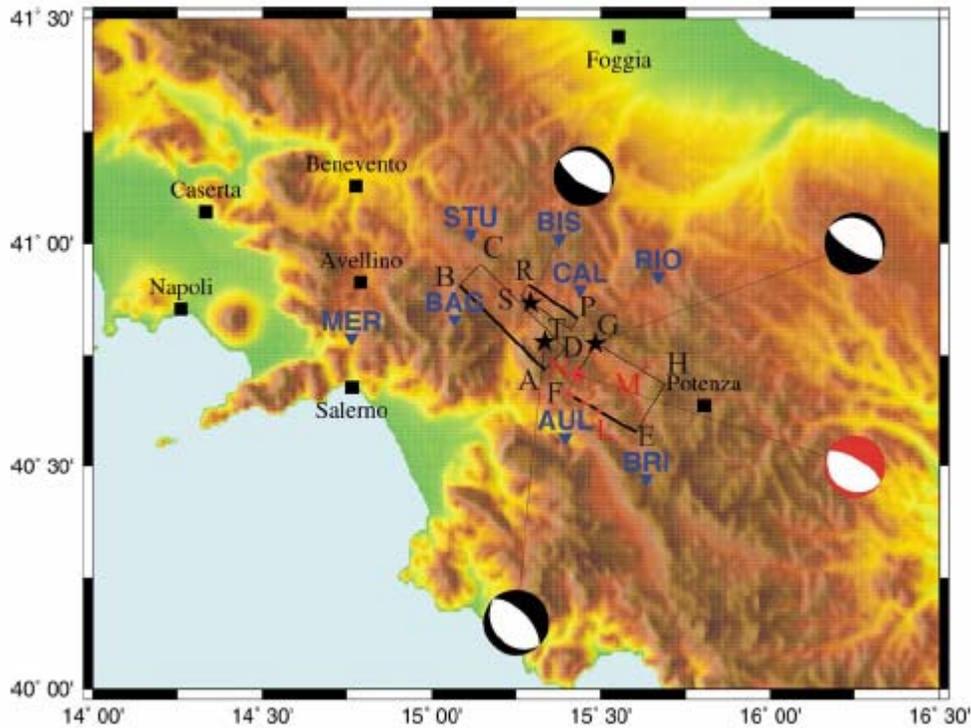
Finestra 80%energia 

# SIMULAZIONE

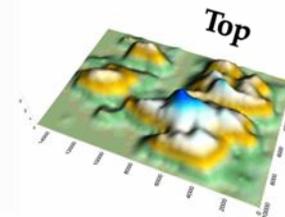
---

- Lo scopo è riprodurre le registrazioni accelerometriche disponibili per l'evento analizzato e ricavare informazioni sui processi avvenuti alla sorgente, sui fenomeni di attenuazione e di amplificazione locale
-

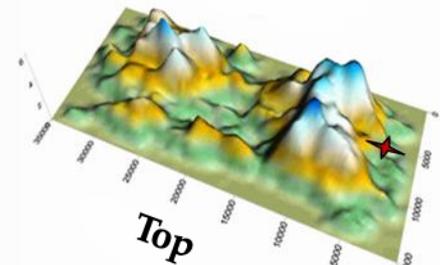
# Modello di sorgente



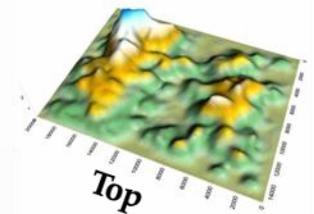
40s



0s



20s



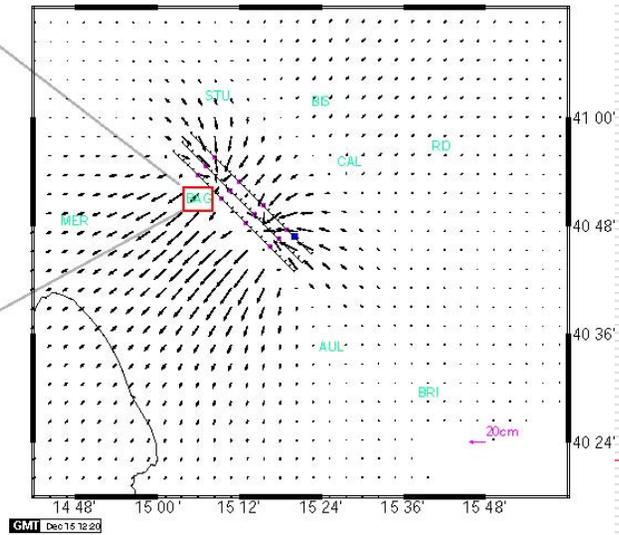
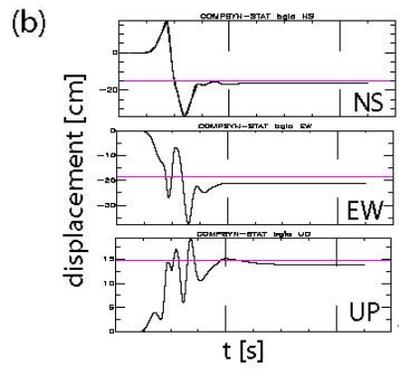
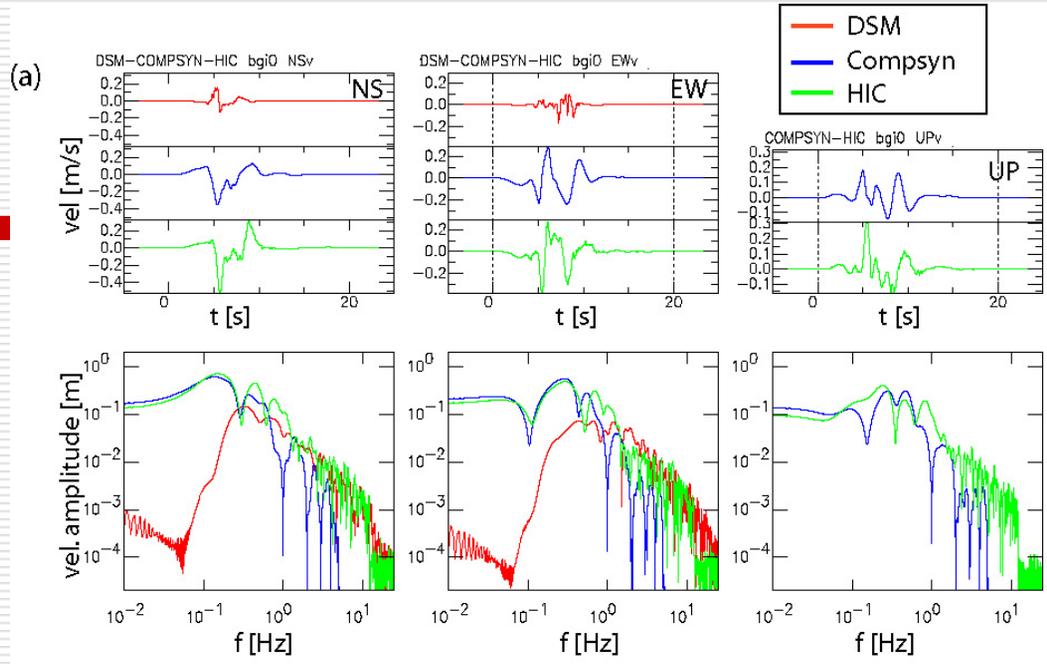
# Stazione di Bagnoli

## Confronto tra sintetici

DSM – stocastica

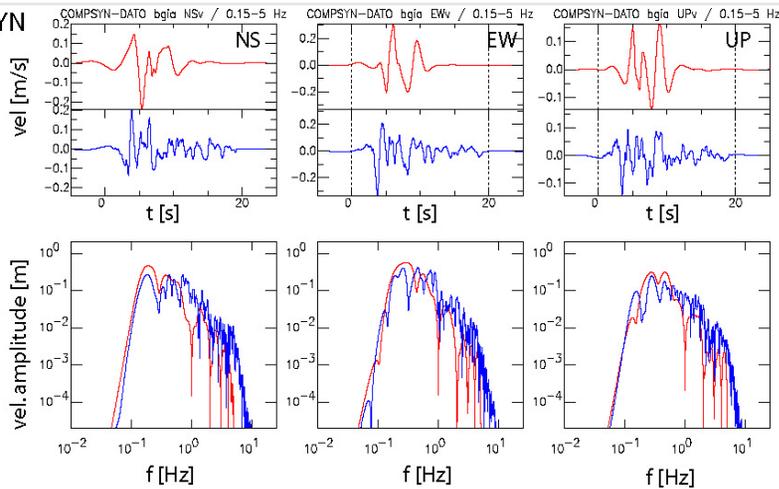
Compsyn / Okada –  
deterministiche

HIC - Ibrida

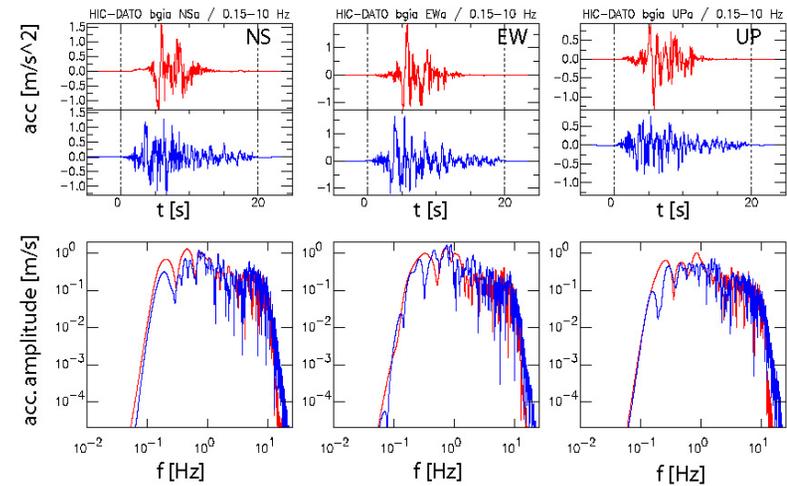


# Confronto con i dati

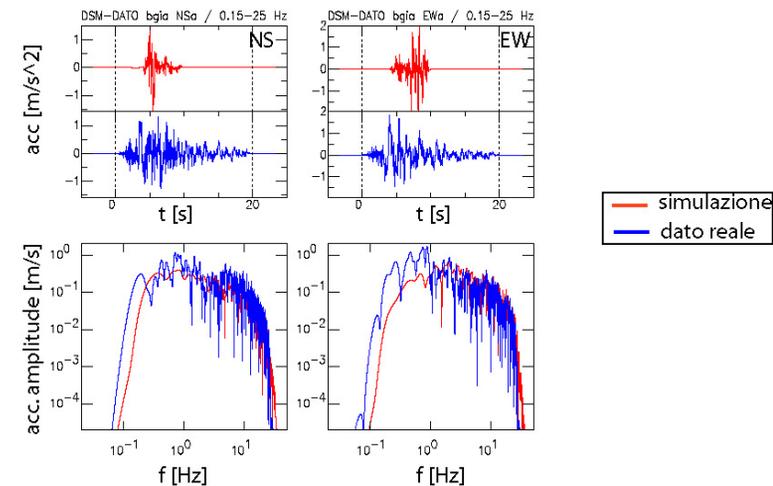
(a) COMPSYN



(b) HIC



(c) DSM



# CALIBRAZIONE

---

La fase di CALIBRAZIONE serve a stimare parametri di ingresso necessari per la modellazione e per i quali non esistono informazioni.

La modellazione di un evento avvenuto si ottiene parametrizzando la sorgente, la propagazione e l'effetto di sito e ottimizzando i parametri attraverso il confronto con il dato registrato.

I risultati dipendono comunque tra il trade off esistente fra i vari parametri

---

# Valutazione del FIT

---

To evaluate the goodness of fit I computed an average error as follows :

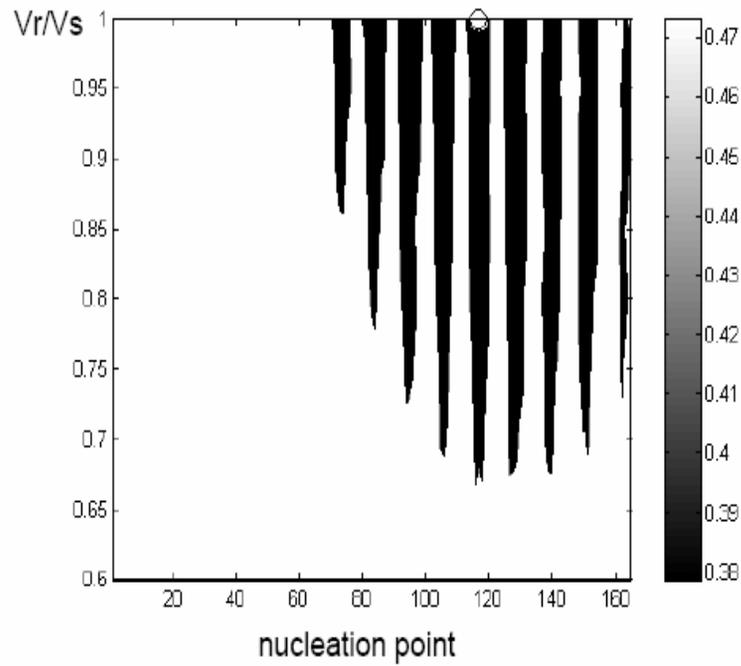
$$\varepsilon = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m E_{rms}(f_j)$$

where m is the number of the considered frequencies and

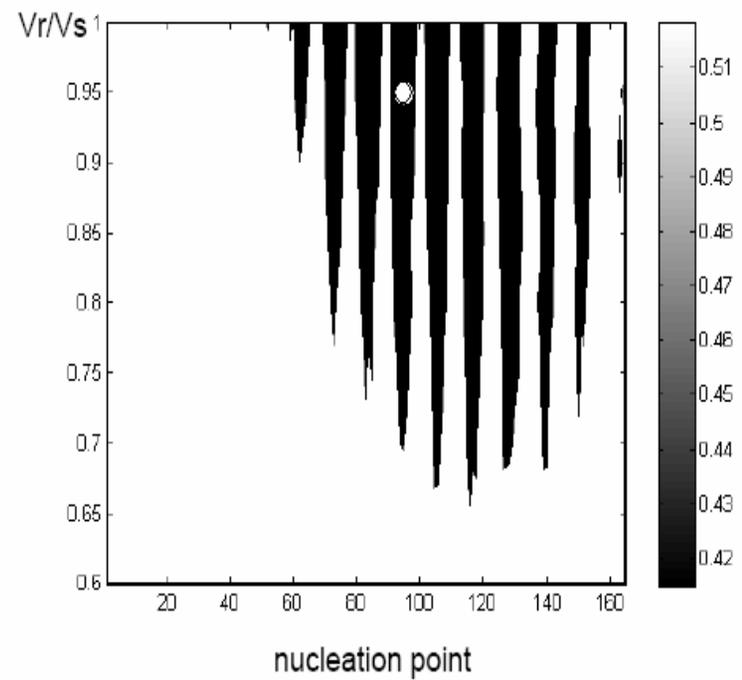
$$E_{rms}(f) = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \log \left( \frac{PSA(f)_{obs}}{PSA(f)_{sim}} \right)_i \right]^2 \right\}^{1/2}$$

# DSM

1 - 5 Hz

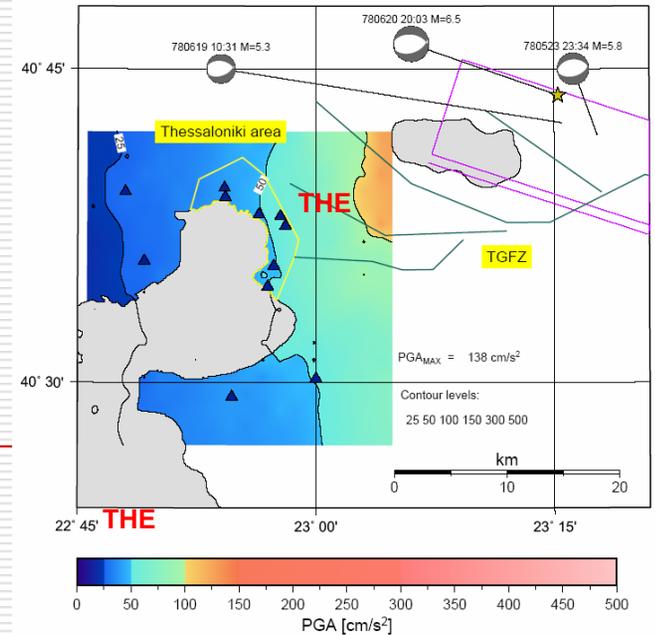


1 - 10 Hz



# Mappa di PGA al bedrock

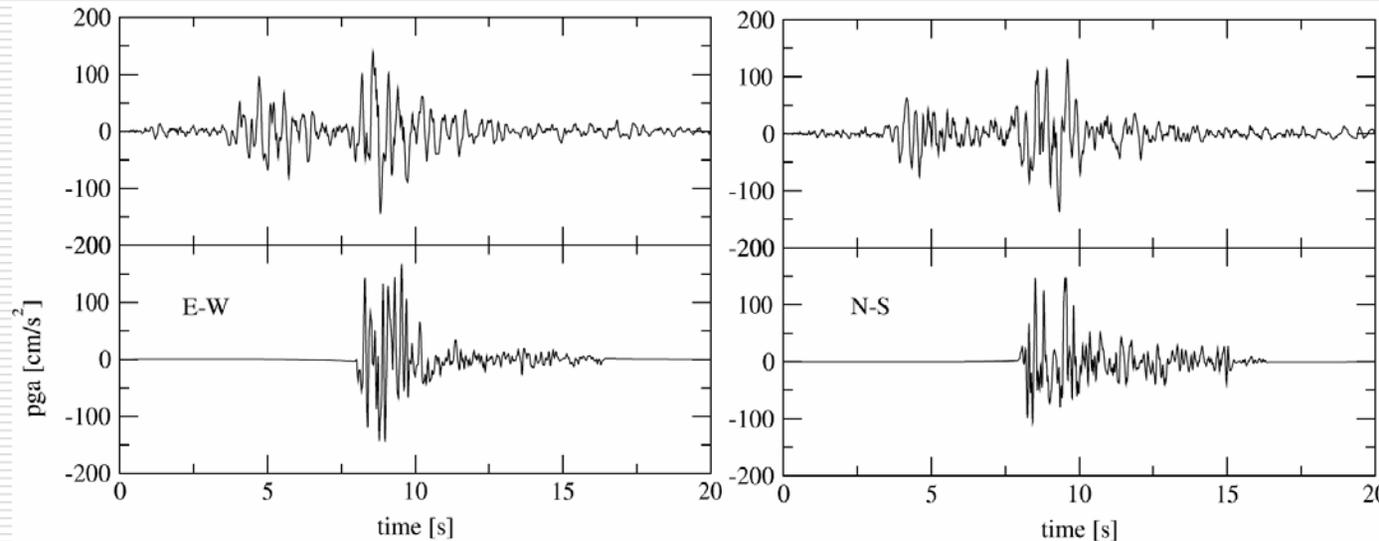
## Simulazione del terremoto di Salonico del 20 Giugno 1978 Thessaloniki (M=6.5)



Geometria della sorgente  
Punto di nucleazione  
Velocità di rottura 2.8km/s  
Slip omogeneo.  
Modello di propagazione 1D  
Modello di attenuazione  
 $Q(f) = 88 f^{0.9} k=0.04 \text{ s}$

Funzione di trasferimento  
Per la classe C della  
classificazione  
Margaris & Boore (1998)

## Confronto fra dato simulato e osservato alla stazione THE



# Validazione

---

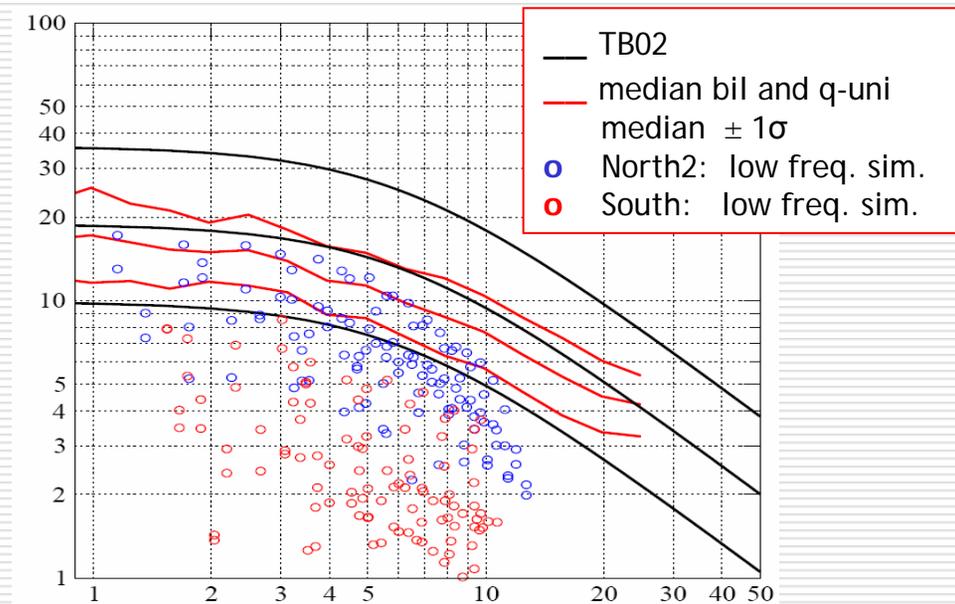
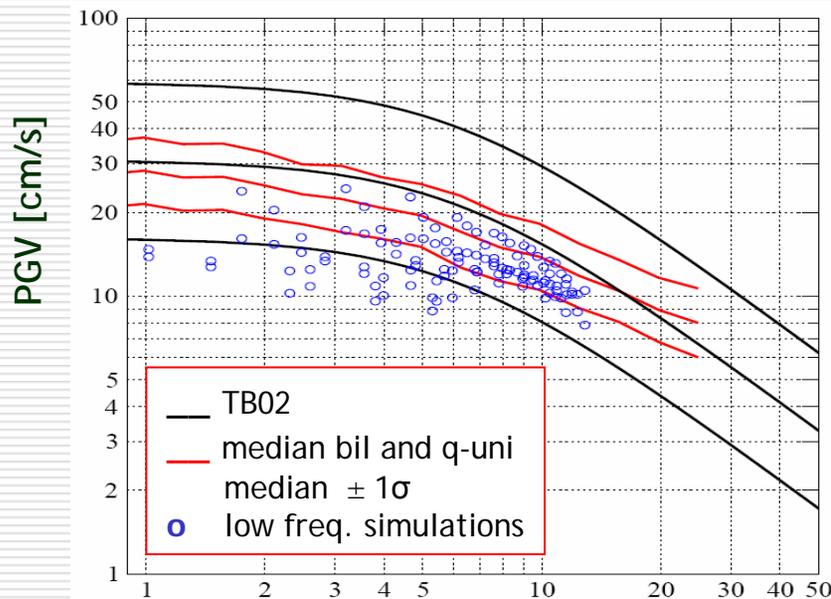
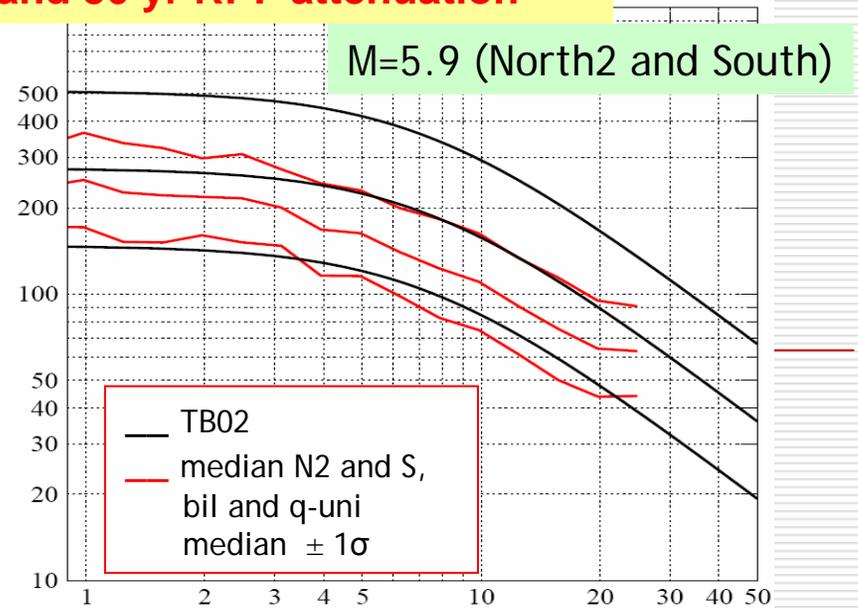
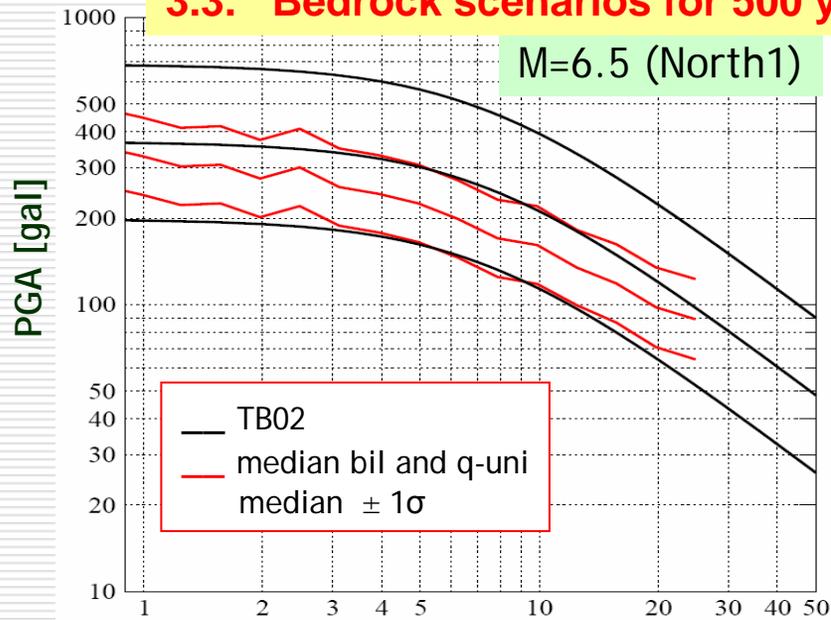
La fase di validazione serve a stabilire quanto una tecnica è in grado di riprodurre il moto sismico.

Fissati tutti i parametri del modello, si procede alla simulazione dell'evento sismico e si confrontano i risultati con dati disponibili o leggi empiriche.

Il misfit tra valori simulati e valori osservati è un buon indicatore dell'incertezza del moto predetto per terremoti futuri.

---

### 3.3. Bedrock scenarios for 500 yr and 50 yr RP: attenuation



Fault Distance [km]

# Calcolo dell'input sismico

---

## **Approccio deterministico**

Scenario di riferimento: M – R

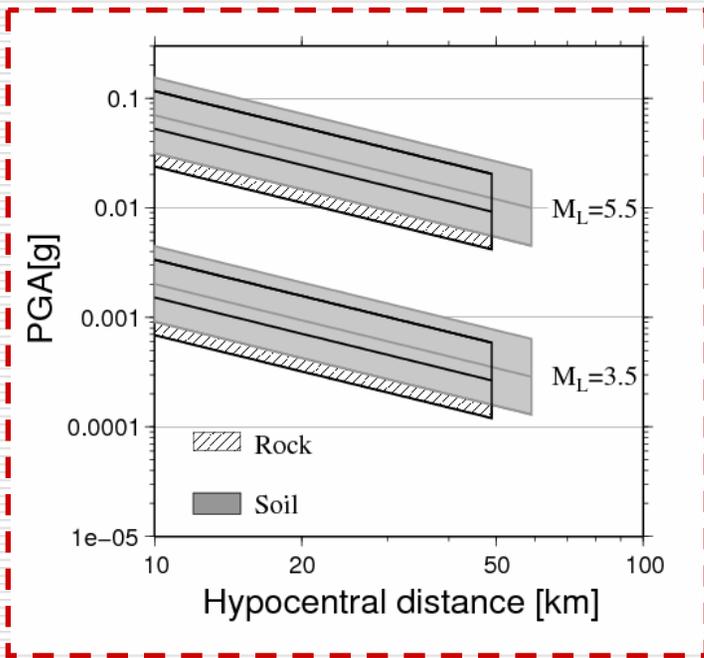
1. Selezione di accelerogrammi reali
2. Modelli empirici (leggi di attenuazione e modelli spettrali)
3. Tecniche di simulazione

Il moto sismico può essere stimato a vari livelli di complessità

---

# LEVEL 1. Empirical model → PGA

## PGA



Legend

- ★ XYcoord\_epic\_evento31\_10\_2002
- località\_ut33
- faglia
- XYpiano\_quotato
- ◆ <all other values>

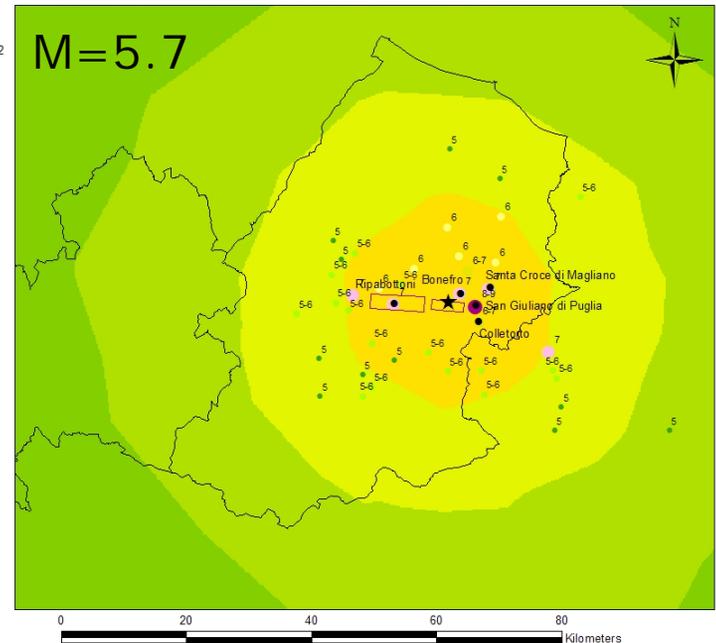
INTENSIT:

- 5
- 5-6
- 6
- 6-7
- 7
- 8-9

valori di pga (cm/s<sup>2</sup>)\_rock

- <VALUE>
- 0-10
  - 10-20
  - 20-30
  - 30-40
  - 40-50
  - 50-60
  - 60-70
  - 70-80
  - 80-90
  - 90-100

### RAPPRESENTAZIONE PGA ROCK

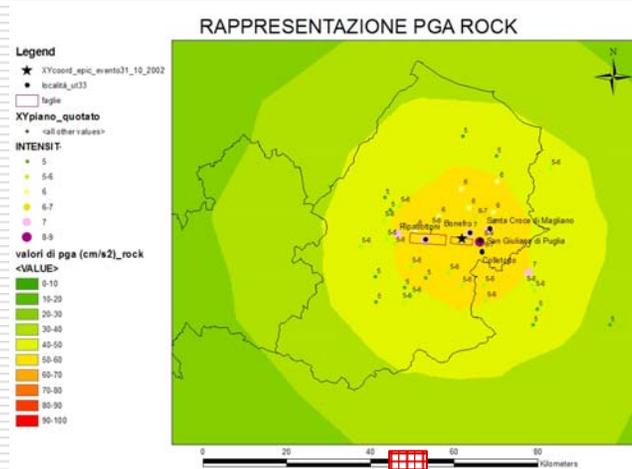


Comparison with  
intensity data

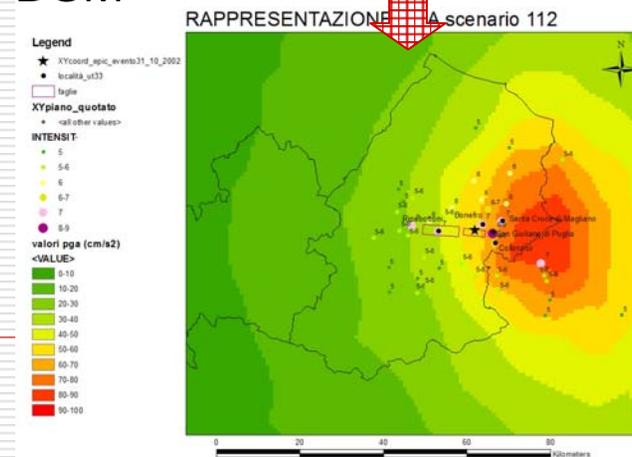
Regional attenuation law (Luzi et al. 2006)

# Level 0 → Level 1. From empirical model to synthetic seismograms

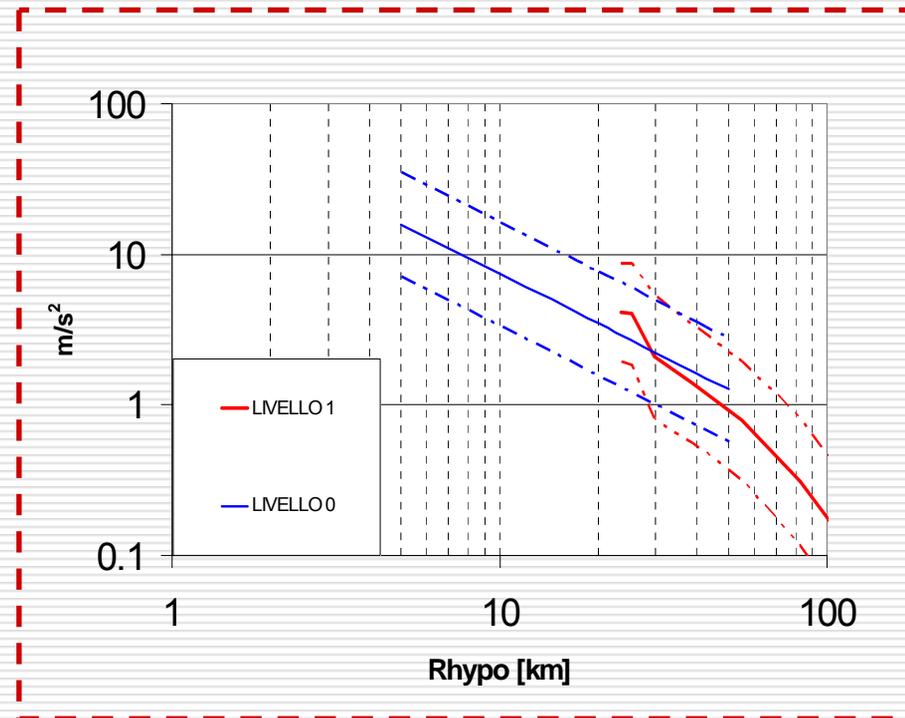
## Livello 0: Empirical model



## Level 1: DSM



## Level 0 and Level 1



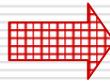
# S. Giuliano di Puglia

Level 0 → Level 1 → Level 2

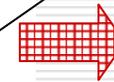
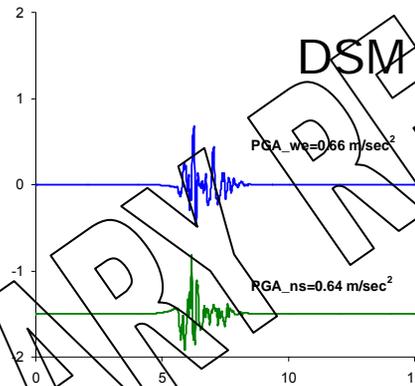
Level 0

PGA=0.31 m/s<sup>2</sup>

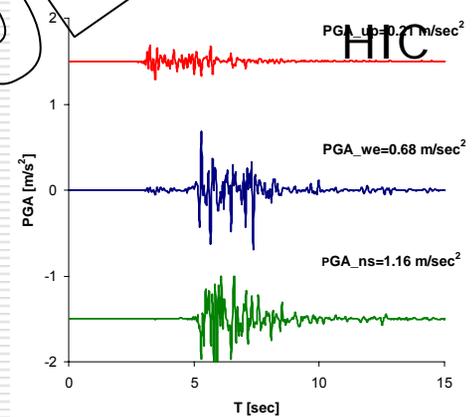
PGA+std=0.68 m/s<sup>2</sup>



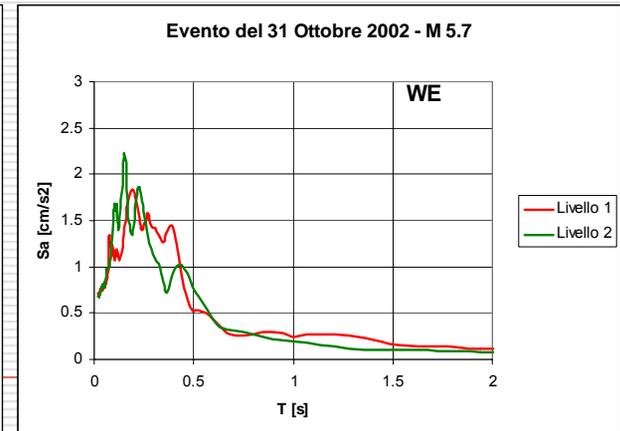
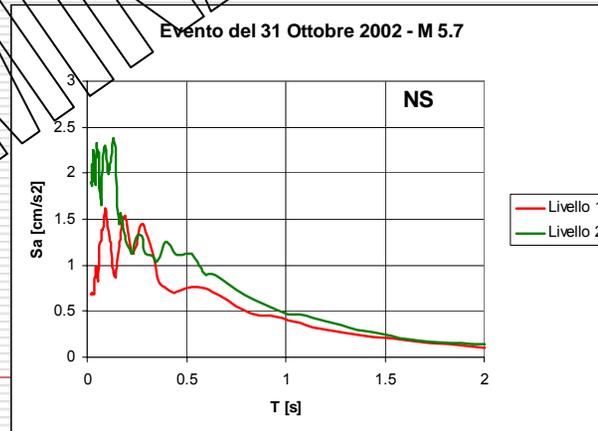
Level 1



Level 2



Level 1 + Level 2



Spettri di risposta (SA)

# PROGRAMMA

---

1. Augliera et al. - La sequenza sismica del Garda: localizzazione ed effetti di sito
  2. Franceschina et al. - Simulazione dell'evento del 24 Novembre 2004 e scenari nel Garda
  3. Traversa Lai - Simulazioni di sismogrammi sintetici per applicazioni di early warning  
Discussione
  1. Cultrera et al. – Scenari a Potenza
  2. Herrero et al- Simulazioni in bassa frequenza: alcuni esempi
  3. Lai et al. – Utilizzo dell'input sismico in applicazioni ingegneristiche
  4. Zonno et al. – Simulazioni nell'area urbana della città di Lisbona.  
Discussione
-