



Università degli Studi  
del Sannio

*Atti del convegno*

# **GIS: strumenti avanzati ed applicazioni per la gestione ed il controllo del territorio**

*a cura di M. Ceccarelli, M. Pignone e F. Russo*

Benevento, 14 Novembre 2001

---

**Comitato organizzatore:**

Filippo Bencardino, Michele Ceccarelli, Maurizio di Bisceglie  
Maria Paradiso, Innocenzo Pinto e Filippo Russo - *Università del Sannio*  
Pietro Coffaro e Maurizio Pignone - *Esri Italia*  
Raffaele D'ambrosio - *Delisa SpA.*

---

*La manifestazione ed il volume degli atti sono stati patrocinati da:*



**Regione  
Campania**



**Provincia  
di Benevento**



**Comune  
di Benevento**



**C.C.I.A.A.  
di Benevento**

*e con i contributi di:*

**ESRI Italia**  
ESRI Italia, S.p.a., Roma

**delisa**  
Delisa S.p.a., Trento

**infotel**  
Soluzioni Informatiche  
Infotel S.r.l., Taranto



## CONFRONTO DI DIFFERENTI TECNICHE PER LA VALUTAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE DI SITO NELLA CITTÀ DI BENEVENTO

Rosalba MARESCA<sup>°</sup>, Mario CASTELLANO<sup>°°</sup>, Raffaella DE  
MATTEIS<sup>°</sup>, Gilberto SACCOROTTI, Pietro VACCARIELLO<sup>°</sup>

<sup>°</sup> Facoltà di Scienze - Università degli Studi del Sannio - Benevento - Italy

<sup>°°</sup> I. N. G. V. - Osservatorio Vesuviano - Napoli - Italy

### Abstract

Different methods are applied to estimate the seismic site response in the Benevento town: (1) the direct interpretation of amplitude noise spectra; (2) the standard spectral ratio techniques, evaluating the sediment-to-bedrock, sediment-to-average ratios; (3) the Nakamura method; (4) 1-D modelling.

The noise wavefield properties have been studied in selected bands of frequency through a polarization analysis, in order to single out possible noise sources, which could mask site effects in noise spectra. Results give evidence of low amplification levels, missing any correlation with the sediment thickness over the basement.

We interpret this result as due to the poor impedance contrast between sediments and basement, which is characterized by low values of shear waves velocity. Moreover, sharp amplitude peaks are observed in the raw spectra of the sediment-sites, in the 2-4 Hz frequency band; a numerical simulation interprets this effect as possibly due to a wide-scale structure, invoking the presence of a sharper impedance contrast at greater depth.

The prominent peaks observed in the H/V spectral ratios at higher frequencies are retained due to ambient sources, mainly active on horizontal components of motion, rather than to site effects.

### Introduzione

E' noto come la amplificazione del moto del suolo prodotta da eventi sismici sia significativamente influenzata dalla geologia di superficie. In questo lavoro viene analizzata la risposta sismica di sito in cinque siti nella città di Benevento, caratterizzati da differente geologia di superficie. La città è locata a ridosso della catena appenninica meridionale, in una delle zone maggiormente colpita nel passato da terremoti distruttivi.

L'area presenta una complessa geologia di superficie, caratterizzata da un'ampia variabilità dei sedimenti quaternari affioranti, sovrapposti ad un basamento argilloso pliocenico, estremamente eterogeneo e caratterizzato da bassi valori di velocità sismiche (Marcellini et al., 1991): questa peculiarità dà luogo ad evidenti variazioni del fattore di amplificazione entro brevi distanze (Iannaccone et al., 1995).

L'elevato potenziale sismico che caratterizza l'area investigata si associa ad una sismicità attuale moderata, con eventi di bassa magnitudo, spesso raggruppati in sciame sismici. Tali circostanze fanno ritenere il metodo del rumore (Kanai, 1957) appropriato per la stima degli effetti di amplificazione di sito. In assenza di forti terremoti il metodo del rumore risulta indubbiamente vantaggioso e di semplice utilizzo.

Numerose evidenze sperimentali mostrano una evidente similitudine tra la forma spettrale del rumore e quella dei terremoti (Lermo and Chavez-Garcia, 1994; Seekins et al., 1996; Katsuaki and Ohmachi, 1998); limiti al metodo possono esistere nel caso si verificano effetti di non linearità in occasione di forti spostamenti del suolo (Cultrera et al., 1999).

Lo scopo di questo lavoro è di investigare come la geologia di superficie possa influenzare la risposta sismica di sito nell'area beneventana, mediante differenti metodologie: (1) la diretta interpretazione delle ampiezze spettrali del rumore; (2) la classica tecnica dei rapporti spettrali, scegliendo come spettro di riferimento quello relativo ad un sito locato su basamento, e lo spettro medio fra tutti quelli relativi ai diversi siti; (3) il metodo di Nakamura (1989), che prevede la stima della amplificazione di sito attraverso il rapporto tra lo spettro della componente orizzontale rispetto a quello della componente verticale del moto; (4) la stima dell'amplificazione di sito attraverso una modellizzazione 1-D.

## **1. Stima della risposta di sito**

### **1.1 Ampiezze spettrali**

Le misure di rumore sismico sono state eseguite con cinque stazioni Lennarz MARSlite, equipaggiate con sensori a tre componenti LE-3Dlite, con frequenza propria 1 Hz. La frequenza di campionamento è di 125 campioni/sec; la durata delle finestre di segnale utilizzate per il calcolo degli spettri è di 2 minuti. La prima fase delle analisi svolte consiste nel calcolo delle ampiezze spettrali a tutti i siti investigati (SED1, SED2, SED3, SED4, BASA) nell'intervallo di frequenza 0.5-20 Hz. I primi quattro siti sono locati su sedimenti alluvionali quaternari, caratterizzati da differenti spessori e grado di compattezza; il sito BASA è locato sul basamento pliocenico. L'evoluzione temporale degli spettri del rumore è stata valutata nell'arco di una intera giornata, per escludere eventuali componenti dovute all'azioni di sorgenti antropiche: i picchi che risultano stabili nel tempo sono più realisticamente attribuiti ad effetti di sito.

Gli spettri di ampiezza delle tre componenti del rumore registrato a tutti i siti presentano alcune caratteristiche comuni: i livelli di ampiezza sono variabili per le differenti finestre di segnale considerate e si osserva un alto contenuto spettrale nella banda 2-4 Hz.

Un'analisi di polarizzazione condotta in tale banda di frequenza, i cui risultati vengono descritti in dettaglio nel lavoro di Maresca et al. (sottomesso), ha evidenziato la mancanza di qualsiasi effetto direzionale nel campo d'onda che potrebbe attribuirsi a sorgenti locali. Un picco meno marcato a 1-2 Hz è particolarmente visibile nello spettro della componente N-S.

A più alte frequenze (>8 Hz) alti livelli di energia risultano particolarmente evidenti sulle componenti orizzontali. Queste caratteristiche risultano evidenti negli spettri medi riportati in figura 2, calcolati su 40 finestre di segnale registrati ai differenti siti, per ciascuna componente del moto del suolo.

### **1.2 Rapporti spettrali rispetto ad uno spettro di riferimento**

Il metodo dei rapporti spettrali è la tecnica empirica maggiormente nota per la stima della risposta di sito (Borcherdt, 1970; Bonilla et al., 1997). Come spettro di riferimento nel calcolo dei rapporti è stato utilizzato quello relativo al sito BASA, situato su basamento.

Tuttavia, essendo il basamento pliocenico caratterizzato da rocce a prevalente componente argillosa, con bassi valori di velocità sismiche, potrebbe risultare non idoneo per la valutazione della amplificazione di sito: Per questo motivo vengono anche calcolati i rapporti spettrali rispetto allo spettro medio (AVE).

Ciò permette di rimuovere dalla risposta di sito le caratteristiche comuni a tutti i siti e di enfatizzare gli effetti di amplificazione dovuti alla geologia locale. I rapporti spettrali sono mostrati in figura 1, insieme ai rapporti H/V descritti nel prossimo paragrafo.

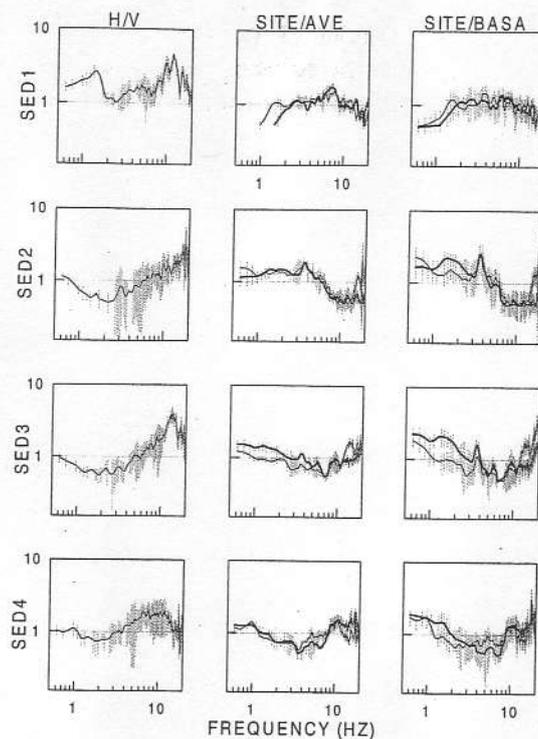


Figura 1 – Rapporti spettrali medi calcolati su 8 finestre di 2 minuti di segnale per ciascun sito su sedimenti. La linea spessa indica la componente verticale e la linea sottile la componente orizzontale.

I rapporti SITO/BASA e SITO/AVE sono molto simili: si osserva un basso livello di amplificazione per tutti i siti, con effetti di attenuazione su differenti bande di frequenza. I picchi nella banda 2-4 Hz osservati negli spettri in ampiezza sono scarsamente evidenti nei rapporti spettrali.

### 1.3 Rapporti H/V

Un metodo applicato con successo per la stima della funzione di trasferimento dai microtremori, è quello proposto da Nakamura (1989):

Le ipotesi su cui esso si basa sono che l'energia dei microtremori consiste principalmente di onde di Rayleigh, propagantesi in uno strato soffice poggiante su un semispazio, e che i microtremori siano generati da sorgenti superficiali. Tale metodo risulta estremamente vantaggioso in quanto permette di valutare la risposta di sito in assenza di un sito di riferimento, la cui scelta può risultare talvolta arbitraria.

Evidenze sperimentali dimostrano che, in caso di semplice geologia, il metodo fornisce buoni risultati nella stima della frequenza di risonanza dei sedimenti (Lermo and Garcia, 1994; Katsuaki and Ohmachi, 1998); talvolta le stime dei livelli di amplificazione ottenute con tale metodo si discostano; tuttavia, da quelle ottenute dai terremoti (Castro et al., 2000). I risultati sono mostrati in figura 1, comparati ai rapporti SITO/BASA, SITO/AVE. Si osserva un più elevato livello di amplificazione, e la mancanza di picchi significativi per frequenze minori di 8 Hz, eccetto che per il sito SED1.

Un'analisi di polarizzazione condotta sui segnali relativi ai siti SED1, SED3 e SED4 ad alte frequenze (>8 Hz) rivela una orientazione spiccatamente orizzontale dell'ellissoide di polarizzazione e l'assenza di direzioni preferenziali di propagazione (Maresca et al., sottomesso).

#### 1.4 Modellizzazione 1-D

I rapporti spettrali SITO/BASA e SITO/AVE rivelano bassi livelli di amplificazione, anche per i siti con più elevati spessori di sedimenti, probabilmente a causa dello scarso contrasto di velocità tra sedimenti e basamento. Inoltre gli spettri di ampiezza mostrano picchi caratteristici nella banda 2-4 Hz per tutti i siti su sedimenti.

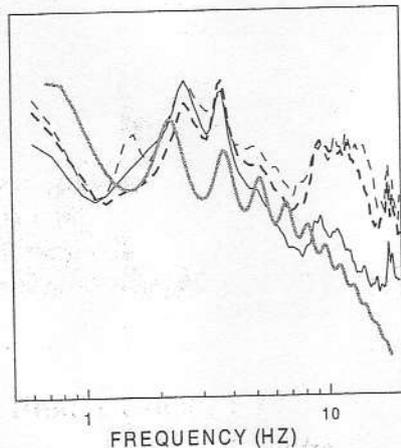


Figura 2 - Spettri medi in ampiezza del rumore (la componente verticale è rappresentata con la linea continua sottile, la componente N-S con la linea sottile tratteggiata, la componente E-W con la linea spessa tratteggiata) confrontati con lo spettro di amplificazione (linea grigia spessa) calcolato dal programma SHAKE. I valori sono normalizzati.

Per verificare se un effetto di sito ad ampia scala possa interpretare tale caratteristica comune osservata negli spettri di ampiezza, assumiamo un semplice modello 1-D per la struttura di velocità a tale scala e calcoliamo la funzione di trasferimento mediante l'algoritmo classico SHAKE. Il programma SHAKE calcola la risposta sismica di un deposito stratificato sovrapposto ad un semispazio e soggetto ad una propagazione verticale di onde S.

La struttura di velocità viene modellata con uno strato spesso 200 metri con velocità delle onde S di 600 m/s, sovrastante un semispazio con velocità delle onde S di 1500 m/s. In tal modo riteniamo che il contrasto di velocità tra sedimenti e basamento non sia significativo, ed invochiamo la presenza di un più forte contrasto di impedenza in profondità. In figura 2 viene riportata la funzione di amplificazione calcolata insieme agli spettri medi ottenuti per le tre componenti della velocità del suolo. Si osserva un soddisfacente accordo alle frequenze di interesse, eccetto per il picco a circa 1.5 Hz presente nello spettro N-S.

#### Conclusioni

- 1) I risultati ottenuti applicando la tecnica dei rapporti spettrali sono in accordo, fornendo bassi valori di amplificazione (non superiori a 2); in alcuni casi effetti di attenuazione sono presenti. La scelta dello spettro di riferimento nel calcolo dei rapporti risulta dunque ininfluente sui risultati. La mancanza di correlazione tra l'amplificazione del moto del suolo e lo spessore dei sedimenti viene attribuita allo scarso contrasto di impedenza tra sedimenti e substrato.
- 2) Gli spettri di ampiezza calcolati a tutti i siti presentano un elevato contenuto spettrale nella banda 2-4 Hz. Questo effetto risulta molto attenuato nei rapporti spettrali. Gli attributi di polarizzazione calcolati in questa banda di frequenza non rimangono stabili nel tempo, suggerendo la mancanza di sorgenti localizzate. I picchi spettrali osservati a queste frequenze vengono interpretati come un effetto ad ampia scala, comune a tutti i siti, anche sulla base di una semplice modellizzazione 1-D.
- 3) I rapporti H/V presentano alti valori di amplificazione con picchi a frequenze >8 Hz. Analisi di polarizzazione condotte a tali frequenze rivelano una palese orizzontalità dell'ellissoide di polarizzazione, senza, peraltro, rilevarne alcuna direzionalità. Tali evidenze consentono di

interpretare i picchi osservati principalmente dovuti a sorgenti ambientali, variabili nel tempo, e generanti un moto prevalentemente orizzontale. A tali frequenze l'azione di sorgenti ambientali è generalmente dominante nel segnale, cosicché un'interpretazione dei rapporti H/V in termini di effetti di sito dovrebbe essere attentamente valutata.

## BIBLIOGRAFIA

- Borcherdt R.D. (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bull. Seism., Soc. Am.*, 60, 29-61.
- Castro R.R., Ruiz E., Uribe A., Rebolgar C., J. (2000). Site response of the Dam El Infiernillo, Guerrero-Michoacan, Mexico. *Bull., Seism., Soc., Am.*, 90, 6, 1446-1453.
- Cultrera G., Boore D.M., Joyner B., Dietel C. M. (1999). Nonlinear Soil Response in the Vicinity of the Van Norman Complex Following the 1994 Northridge, California, Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 1214-1231.
- Iannaccone G., Improta L., Biella G., Castellano M., Deschamps A., De Franco R., Malagnini L., Mirabile L., Romeo R., Zollo A. (1995). A study of local site effects in Benevento (Southern Italy) by the analysis of seismic records of explosions. *Ann. Geof.*, 38, 3-4, 411-427.
- Kanai K. (1957). The requisite conditions for predominant vibration of ground. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, 31, 457.
- Katsuaki K., Ohmachi T. (1998). Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 228-241.
- Lermo J., Chavez-Garcia F.J. (1994). Are microtremors useful in site response evaluation ? *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 1350-1364.
- Marcellini A., Bard P.Y., Vinale F., Bousquet J.C., Chetrit D., Deschamps A., Franceschina L., Grellet B., Iannaccone G., Lentini E., Lopez-Arroyo A., Meneroud J.P., Mouroux J.P., Pescatore T., Rippa F., Romeo R., Romito M., Sauret B., Scarpa R., Siminelli A., Tento A., Vidal S. (1991). Benevento seismic risk project: progress report, in Fourth International Conference on Seismic Microzonation, EERI, Stanford, CA, 1, 605-669.
- Maresca R., Castellano M., De Matteis R., Saccorotti G., Vaccariello P., sottomesso. Local site effects in the town of Benevento (Italy) from noise measurements. *Sottomesso a Pure Appl. Geophys.*
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Q. Rept. Railway Tech. Res. Inst.*, 30, 1, 25-33.
- Seekins L.C., Boatwright J. (1994). Ground motion amplification, geology, and damage from the Loma Prieta earthquake in the City of San Francisco. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 63, 1227-1253.