

# **IMPORTANZA DELLE MISURE HVSR NELLE ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.**

Rocco Carbonella (rocco.carbonella@geoteasrl.it)  
*Direttore laboratorio geotecnico Geotea srl.*

Enrico Cumoli (ecumoli@yahoo.it)  
*Sperimentatore laboratorio Geotea srl.*

Maggi Stefano (maggi\_stefano@libero.it)  
*Responsabile settore Geofisico Geotea srl.*

**ABSTRACT.** La definizione dell'azione sismica assume sempre maggior peso nell'ambito della progettazione. Attraverso l'utilizzo di software specifici, l'analisi di risposta sismica locale rappresenta il metodo più efficace per la definizione dell'azione sismica di progetto. La presente memoria, attraverso la presentazione di un case history evidenzia, l'importanza delle misure HVSR sia per il contributo offerto alla definizione del profilo delle velocità delle onde S sia per la validazione del modello geologico/geotecnico/geofisico utilizzato nell'analisi RSL. In particolare, la funzione di trasferimento ottenuta dalle suddette analisi, deve riprodurre le frequenze di risonanza (picchi) della curva HVSR sperimentale.

## **1. Introduzione**

I risultati di uno studio di risposta sismica locale sono un potente strumento di supporto alla progettazione. L'azione sismica viene dettagliata a scala di sito utilizzando dei modelli numerici che riproducono il campo di moto in superficie a partire da un accelerogramma di input riferito al basamento roccioso (bedrock). Le indagini geologiche/geotecniche/geofisiche devono essere opportunamente calibrate in modo da ottenere una conoscenza approfondita della stratigrafia, delle caratteristiche geofisiche e delle proprietà meccaniche dei terreni nell'area in studio. Una corretta analisi RSL necessita di numerose informazioni, spesso interdisciplinari, con la possibilità che si verifichino molteplici criticità dipendenti dalla complessità geologica del sito e/o dai modelli di calcolo utilizzati. Le misure HVSR rappresentano un utile strumento di controllo e validazione del modello di sottosuolo utilizzato.

## **2. RISPOSTA SISMICA LOCALE**

Un evento sismico provoca delle oscillazioni cicliche, causate dalla propagazione di onde sismiche a partire dal bedrock verso gli strati più superficiali della crosta terrestre. Con il termine risposta sismica locale (RSL) si intende l'insieme delle modifiche che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (LANZO G. e SILVESTRI F., 1999). Sulla base anche di semplici osservazioni della variabilità del danneggiamento sismico in direzione areale appare chiaro come non basti definire un terremoto atteso di riferimento su terreno rigido (bedrock) affiorante per progettare le caratteristiche sismoresistenti di una struttura, ma occorra anche conoscere le modifiche in termini di ampiezza, contenuto in frequenza e direzione di propagazione che le onde sismiche subiscono nella parte finale del loro viaggio dalla sorgente alla superficie (Crespellani T., 2005). Le condizioni locali (caratteristiche geologiche, stratigrafiche, morfologiche) e proprietà fisiche e meccaniche dei terreni, modificano il moto sismico e generano una serie di effetti di sito (amplificazione sismica) ed instabilità dei suoli (liquefazione sabbie sature, frane sismoindotte, cedimenti di terreni molli, ecc.).

## **3. PRINCIPI GENERALI E METODO DI ANALISI IN RELAZIONE AL COMPORTAMENTO DINAMICO DEL TERRENO DURANTE IL SISMA.**

Come accennato in precedenza, il comportamento del terreno durante un evento sismico può essere analizzato sotto due punti di vista:

- modifica del moto sismico del suolo causata da condizioni geologiche-geomorfologiche locali (amplificazione locale);

○ modifica delle caratteristiche del terreno per effetto del passaggio dell'onda sismica. Questi effetti hanno grande rilevanza nella definizione delle azioni sismiche sugli edifici e nello studio delle fondazioni delle opere. Con riferimento ad un semispazio omogeneo, la determinazione del moto delle onde S incidenti perpendicolarmente alla superficie, si risolve imponendo che siano soddisfatte le equazioni di equilibrio dinamico espresse in funzione dello spostamento u:

$$\overline{G} \frac{\delta^2 u}{\delta \cdot z^2} = \rho \frac{\delta^2 u}{\delta \cdot t^2} \quad (1)$$

Il rapporto tra il moto in superficie e il moto ad una data profondità h risulta dalla:

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = (2n-1) \frac{V}{4h} \quad (2)$$

Negli anni sono state elaborate e affinate numerose tecniche per l'analisi della risposta sismica locale, diverse tra loro a seconda delle modalità di rappresentazione del problema e degli elementi di complessità introdotti. I modelli più semplici e comunemente utilizzati (anche per analisi preliminari o di taratura di modelli più complessi) sono i quelli monodimensionali (1-D), che si basano su una serie di ipotesi e di semplificazioni relative alla caratterizzazione geometrica e meccanica del deposito ed alle leggi di propagazione delle onde sismiche e di comportamento dei terreni. In particolare si assume che

1. il bedrock sia indefinitamente esteso ed i depositi sovrastanti stratificati orizzontalmente;
2. la sollecitazione sismica sia costituita da sole onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale (SH) incidenti il bedrock con direzione di propagazione verticale.

In particolare, per il presente studio, è stato utilizzato il codice di calcolo di EERA (Bardet et al., 2000).

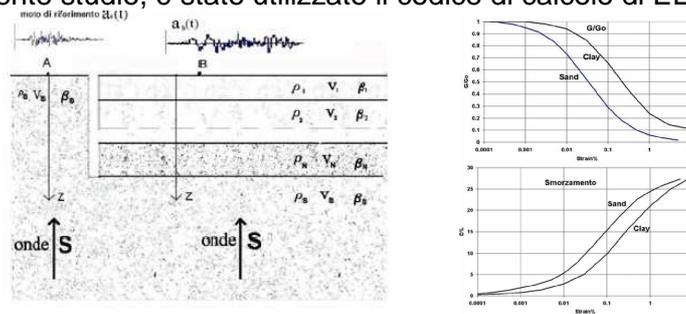


Figura 1 – Schema di calcolo per analisi monodimensionali eseguite con il codice di calcolo EERA e. variazione del modulo di taglio e dello smorzamento con la deformazione

Nel codice di calcolo, il terreno è schematizzato come un mezzo multistrato, in cui ogni livello è assunto omogeneo ed a comportamento viscoelastico lineare. I parametri che caratterizzano lo strato i-esimo sono: lo spessore, la densità, il modulo di taglio (velocità delle onde S) ed il fattore di smorzamento.

#### 4. CASE HISTORY

L'area è ubicata nel margine collinare al passaggio tra i depositi di pianura e le formazioni appenniniche. In particolare il sito è costituito da un lembo di terrazzo del sottostante Fiume Reno che poggia su di un substrato costituito da marne della Formazione del Termina.

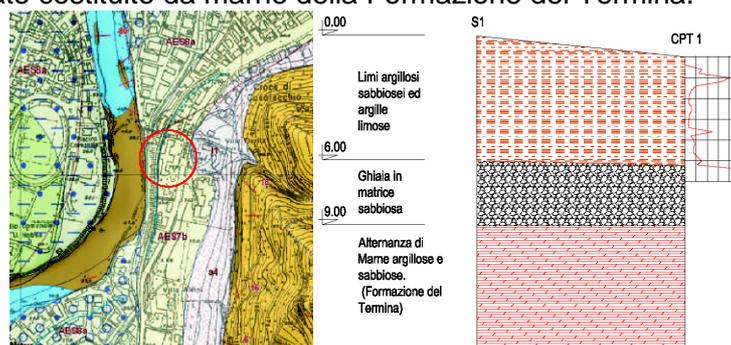


Figura 2 – Carta geologica e stratigrafia di riferimento dell'area in esame. Dove: AES8 – Subsistema di Ravenna, AES7a – Unità di Modena, AES7B – Unità di Vignola, TER – Formazione del Termina. Tratta dal sito del Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romagna.

E' stata realizzata una campagna geognostica mediante l'esecuzione di alcune prove penetrometriche statiche, sondaggio geognostico e prove di laboratorio geotecnico. L'indagine geofisica è stata realizzata mediante un profilo in array con tecnica MASW e misure a stazione singola H/V. Il profilo delle velocità delle onde S è stato ricavato mediante modellazione congiunta tra tecnica Masw ed H/V. In questo modo è possibile definire il profilo verticale di velocità delle onde di taglio S al di sotto del limite inferiore di leggibilità della sola prova Masw. Per l'analisi di risposta sismica locale sono stati utilizzati 5 terremoti di riferimento spettrocompatibili così come prevedono le norme tecniche per le costruzioni. Nelle figure seguenti sono compendiate i risultati ottenuti.

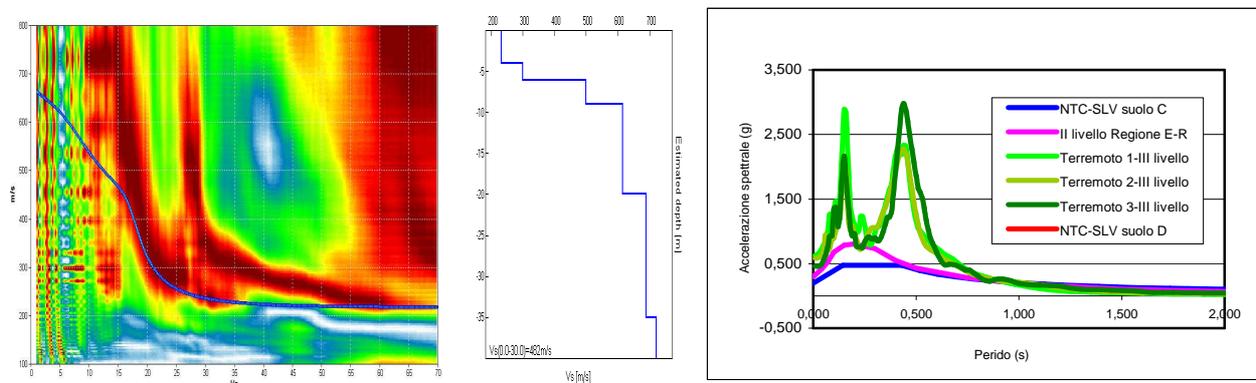


Figura 3 – Spettro acquisizione Masw, profilo di velocità. onde S, confronto spettro di normativa e analisi RSL.

La curva HVSR è un grafico frequenza (x) – ampiezza del rapporto HV (y). Ciascun picco della curva rappresenta un'amplificazione locale del moto del suolo per risonanza, legata alla presenza di contrasti d'impedenza nel sottosuolo. Maggiore è il contrasto di impedenza, maggiore è l'ampiezza attesa del picco HV (Fig. 4) sebbene la relazione tra le due variabili non sia lineare. (Castellaro et al. 2005). La funzione di trasferimento derivante da una analisi di RSL è il rapporto tra lo spettro dell'accelerogramma in superficie e di quello al bedrock e rappresenta il valore di amplificazione del moto del suolo alle varie frequenze. Ne deriva che la funzione di trasferimento deve necessariamente avere lo stesso andamento della curva HVSR misurata in sito, riproducendone le frequenze principali di risonanza (picchi). Tale aspetto rappresenta la validazione del modello di sottosuolo utilizzato.

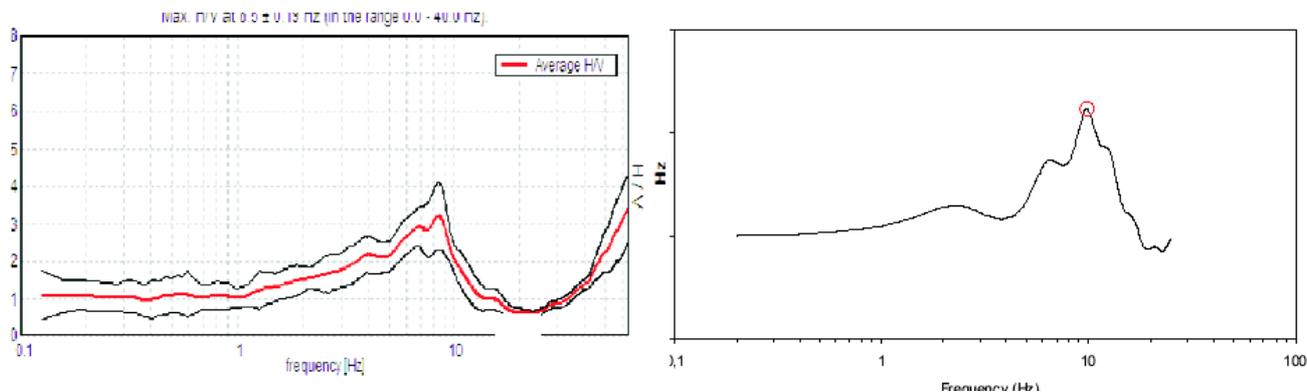


Figura 4 – Confronto tra la funzione di trasferimento dell'analisi di risposta sismica locale (in alto) e la lettura H/V.

## 5. Conclusioni

Le analisi di risposta sismica locale rappresentano un utile strumento per definire l'azione sismica di progetto e saranno utilizzate in modo sempre più frequente. La presente memoria, attraverso la presentazione di un case history, evidenzia l'importanza delle misure HRSV in relazione al contributo che offrono sia nella definizione del profilo delle onde S sia per la validazione del modello di sottosuolo utilizzato nelle analisi di risposta sismica locale. In particolare, la funzione di trasferimento ottenuta dall'analisi RSL deve corrispondere, almeno nelle frequenze principali dei picchi, alla misura H/V registrata in sito.

## 6. Bibliografia

- Bardet, J.P., Ichii, K., and Lin C.H. (2000). *EERA A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits*, Dep. of Civil Engineering, University of Southern California
- Castellaro S., Mulargia F., Bianconi L. (2005) *Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique*. *Geologia Tecnica* 3/2005 pp 76-102
- Crespellani T. (2005) *Pericolosità ed effetti di sito* AGI Aspetti Geotecnici della Progettazione in Zona Sismica pp 67-81 Patron Editore
- Lanzo G. & Silvestri F., (1999) *Risposta sismica locale: teoria ed esperienze*. Hevelius Edizioni.