

Lo strumento utilizzato per le misure è il tromometro “Tromino”, sismografo di dimensioni molto contenute che contiene tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri), un ampio range frequenziale (0,1 – 256 Hz) e un sistema GPS integrato.

L’ubicazione dei punti di misura, i report di elaborazione, la documentazione fotografica e la descrizione della tecnica e applicazioni del metodo sono riportati, rispettivamente, nell’All. **X**, nell’All. **Y**, nell’All. **Z** e nell’App. **W**.

L’indagine è consistita in n. 4 misurE a stazione singola di microtemori al suolo elaborate secondo la tecnica HVSR che permette la misura immediata della frequenza di risonanza fondamentale del suolo.

La prova consente anche la determinazione delle  $V_{s,30}$  sfruttando, mediante l’inversione delle misure, la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti  $H/V$  misurati con quelli “sintetici” (cioè con quelli calcolati relativamente al campo d’onde completo di un modello 3D) ed anche, entro certi limiti, la valutazione delle amplificazioni di sito.

L’interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981; Arai e Tokimatsu, 2004).

L’indagine ha permesso di rilevare la:

- frequenza fondamentale al suolo;
- velocità delle onde di taglio ( $V_{s,30}$ ) nei primi 30 m di profondità;

In allegato al testo delle *NTC08* è presente una tabella nella quale le azioni sismiche vengono determinate facendo riferimento alle coordinate geografiche di una griglia di punti prefissati sul territorio: i valori per il sito di interesse, individuato mediante interpolazione sui quattro punti adiacenti, vengono quindi calcolati sulla base della conoscenza della velocità

delle onde di taglio nei primi 30 m ( $V_{s,30}$ ) per le quale è possibile utilizzare, se disponibili, i valori di  $N_{SPT}$  e di  $c_u$  o, com'è consigliato, misure dirette, come quelle in esame.

Scopo fondamentale del rilevamento è, come precedentemente descritto, la misura della frequenza di risonanza fondamentale del suolo, oltre alla determinazione delle  $V_{s,30}$  sito per l'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento necessaria per la definizione dell'azione sismica secondo l'approccio semplificato previsto dalla normativa attualmente vigente (D.M. 14.01.2008).

La funzione HVSR mostra un picco di risonanza significativo ( $H/V \approx 5$ ) ad una frequenza di 7,69 Hz solo nel Settore 1. Negli altri Settori si osservano, ad eccezione della misura nel Settore 2, picchi di risonanza poco pronunciati (valore  $H/V < 2$ ) e comunque corrispondenti a variazioni di rigidezza del sottosuolo a profondità considerevoli.

Il picco con  $H/V \approx 2,5$  a frequenza di 25,91 Hz presente nella misura eseguita nel Settore 2 indica anch'esso una risonanza stratigrafica, ma riguarda uno "strato" a bassissima profondità (1-2 m). Per questa ragione, e perché ingegneristicamente parlando ha poco senso, non è da tenere in conto.

I report completi sono visibili nell'All. **Y** e riportano anche i valori di  $V_{s,30}$  calcolati e i controlli statistici predisposti dal progetto EU SESAME (<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>).

In conclusione, le misure mostrano che nel sottosuolo dei Settori esaminati non sono presenti, nell'ambito delle profondità di interesse ingegneristico, litotipi con caratteristiche di rigidezza significativamente diverse, ad eccezione del Settore 1 nel quale si osserva una risonanza importante ad una profondità di circa 11 m.

Com'è noto, ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto secondo l'approccio semplificato previsto dal DM. 14.01.2008 sono definite (Tabella 3.2.II) le seguenti categorie di profilo stratigrafico del sottosuolo (*le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni*):

- A)** *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
- B)** *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- C)** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- D)** *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).
- E)** *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s).

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre 2 (Tabella 3.2.III del DM. 14.01.2008), per le quali sono richieste specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente in presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/ di argille di elevata sensibilità:

- S1)** Depositi di terreni caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 100 m/s (ovvero  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
- S2)** Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti, la  $V_{s,30}$  rappresenta la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio  $S$  (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

*Il sito viene dunque classificato in base al valore  $V_{s,30}$ .*

Nel caso in esame, i valori  $V_{s,30}$ , determinati attraverso l'indagine sismica utilizzata, risultano (v. All. **Y**):

$$V_{s,30} = 482 \text{ m/s}$$

$$V_{s,30} = 555 \text{ m/s}$$

$$V_{s,30} = 397 \text{ m/s}$$

$$V_{s,30} = 381 \text{ m/s}$$

riferiti ovviamente al piano campagna, e quindi si è, in tutti i Settori, in presenza di un sottosuolo di:

***Categoria B***

come sopra definita dalle *NTC08*.

## 1. TECNICA D'INDAGINE HVSR

La caratterizzazione sismica di un terreno eseguita tramite la tecnica di **indagine sismica passiva H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura)** è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di **risonanza di sito**, correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

### A) Analisi sismica del sottosuolo

L'utilizzo di algoritmi di calcolo volti ad una modellizzazione sintetica delle **spettro H/V**, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per es., cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono:

- ✓ spessori,
  - ✓ profondità
  - ✓ velocità di propagazione delle onde di taglio
- all'interno del sismostrato individuato.

Tramite l'elaborazione di modi superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai modi superiori o da "artefatti", al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un **tromometro digitale** della ditta Micromed S.p.A. modello "**Tromino**" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatto a tali misurazioni.

### B) Risultati da indagini sismiche HVSR

I risultati che si possono ottenere da indagini sismiche HVSR sono quelle qui di seguito elencate.

- **Frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici antisismici, adottando adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- **Velocità media delle onde di taglio  $V_s$**  che può essere stimata tramite un apposito codice di calcolo per la creazione di curve H/V sintetiche purché, **per l'affidabilità del risultato**, si conosca la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella **curva H/V**. Il modello, **opportunamente applicato**, può essere considerato uno stimatore del profilo di  $V_s$ , con errori confrontabili con quelli di metodi più tradizionali, per lo meno nei primi 30 m di profondità e consente quindi possibile di definire la **Categoria del suolo di fondazione** come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- **Stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, con dettaglio maggiore nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica **HVSR**, in termini di **stratigrafia del sottosuolo**, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto d'impedenza**, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

## 2. CENNI TEORICI

Il rumore sismico ambientale (*noise*), presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, ecc.), dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre; tale rumore viene definito *microtremore* in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ( $10^{-15} \text{ [m/s}^2\text{]}^2$ , in termini di accelerazione) e molto inferiori a quelle indotte dai

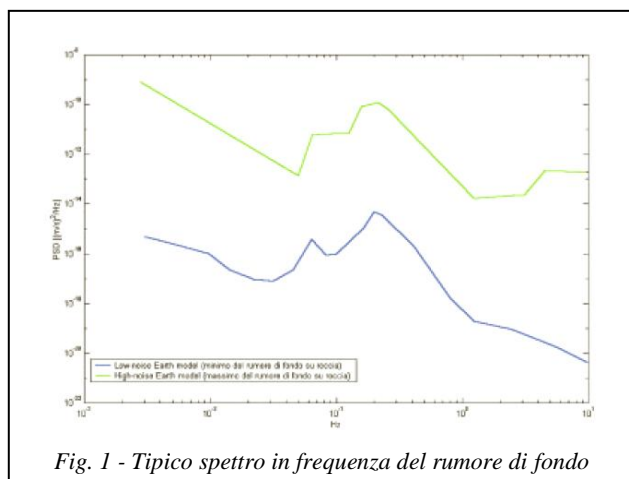


Fig. 1 - Tipico spettro in frequenza del rumore di fondo

terremoti. Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno pianeggiante presenta l'andamento illustrato in Fig. 1, dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche; tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie, ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz a

causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

In generale, nel tragitto dalla sorgente a un sito in superficie, le onde elastiche (sia di terremoto sia di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti ed attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, nel rumore di fondo, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta, contenente le informazioni relative al percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura profonda. Perciò, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni, nascoste all'interno del rumore casuale, che possono essere estratte attraverso tecniche opportune. Una di queste è la tecnica dei rapporti spettrali o *HVSR*. La tecnica che si è maggiormente consolidata nell'analisi dei microtremori è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale o *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), applicata da NOGOSHI e IGARASHI (1970) e resa popolare principalmente da NAKAMURA (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Nel dominio della frequenza, quattro sono gli spettri coinvolti: le componenti orizzontali e verticali del moto in superficie ( $H_S$  e  $V_S$ ) e alla base dello strato ( $H_B$  e  $V_B$ ). La tecnica di Nakamura si basa sulle seguenti ipotesi:

- le sorgenti dei microtremori sono locali, trascurando qualsiasi contributo dovuto a sorgenti profonde;
- le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base;
- la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale.

Sotto queste ipotesi, il rapporto fra le componenti verticali del moto in superficie ( $V_S$ ) ed alla base ( $V_B$ ) contiene solo termini delle sorgenti locali  $A_S(\omega)$  e delle sorgenti alla base  $A_B(\omega)$ , ed è pari a:

$$R_v(\omega) = \frac{V_S(\omega)}{V_B(\omega)} = \frac{A_S(\omega)}{A_B(\omega)}$$

Viceversa, il rapporto fra l'ampiezza dello spettro della componente orizzontale del moto in superficie ( $H_S$ ) e alla base dello strato ( $H_B$ ), contiene oltre che il termine di sorgente anche il termine di amplificazione di sito in superficie  $S(\omega)$  e può essere espresso nel seguente modo:

$$R_H(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} = \frac{S(\omega)A_S(\omega)}{A_B(\omega)}$$

Per rimuovere l'effetto di sorgente dai segnali, Nakamura divide i due rapporti  $R$  fra loro ottenendo così la seguente espressione per la funzione trasferimento di sito:

$$\frac{R_H(\omega)}{R_V(\omega)} = S(\omega) = \frac{H_S(\omega)V_B(\omega)}{H_B(\omega)V_S(\omega)}$$

Ipotizzando infine che alla base dei sedimenti l'ampiezza spettrale della componente verticale e di quella orizzontale siano uguali e cioè:

$$\frac{V_B(\omega)}{H_B(\omega)} = 1$$

Il fattore di amplificazione del moto orizzontale in superficie potrà essere valutato direttamente nel seguente modo:

$$S(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)}$$

Le varie ipotesi sono state verificate dallo stesso Nakamura con misure di microtremori in superficie e in pozzo. Le stesse assunzioni sono state verificate anche da altri autori confrontando i risultati ottenuti con modelli di propagazione di onde di Rayleigh, modelli di propagazione 1D di onde S e con modelli di generazione sintetica di rumore. Le conclusioni a cui sono giunti i suddetti studi sono che il picco visibile nei rapporti H/V ottenuti con il rumore simulato è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore e che dipende invece fortemente dalla stratigrafia del terreno. Tale picco è inoltre ben correlato con la frequenza fondamentale di risonanza del terreno soggetto alla propagazione di onde S verticali e con il picco fondamentale delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

### A) Sismostratigrafia

Le basi teoriche dell'*HVSR* sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità.

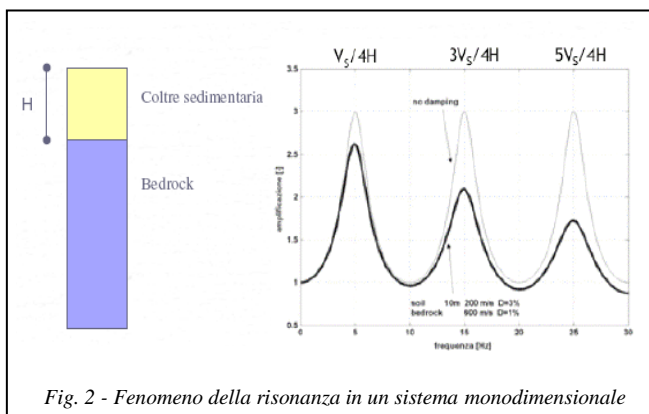


Fig. 2 - Fenomeno della risonanza in un sistema monodimensionale

Consideriamo il sistema della Fig. 2 in cui una coltre sedimentaria sovrasta un *bedrock*.

Un'onda che viaggia nel mezzo superiore viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli

dispari) lo spessore  $H$  del primo strato. In altre parole, la frequenza fondamentale di risonanza  $f$  dello strato superiore relativa alle onde S è pari a:

$$f = n \cdot \frac{V_S}{4H}$$

con  $n$  dispari.

Quando la velocità nello strato sedimentario  $H$  varia con la profondità, si devono adottare tecniche di modellazione numerica. In prima approssimazione si ha che:

$$f \approx \frac{\hat{V}_S}{4H}$$

dove:

$$\hat{V}_S = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

da cui:

$$f = \frac{1}{4 \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

Tale relazione permette di ottenere informazioni sulla profondità di un substrato, note la frequenza fondamentale di risonanza del terreno e la velocità delle onde di taglio  $V_S$  che lo sovrastano; viceversa, è possibile conoscere il profilo delle  $V_S$  nota la profondità del substrato.

## B) Dinamica degli edifici

Il metodo dei rapporti spettrali di singola stazione può essere utilizzato per la caratterizzazione dinamica degli edifici a seguito di vibrazioni indotte da terremoti. Infatti, le misure dei microtremori sulle strutture permettono di determinarne le frequenze di vibrazione e di confrontarle con le frequenze di risonanza del suolo. In caso di vicinanza o coincidenza tra le frequenze di risonanza del terreno di fondazione e le frequenze della struttura, il sisma induce fenomeni di risonanza con conseguente amplificazione degli effetti negativi.

In generale, è possibile determinare per via empirica il periodo fondamentale  $T$  di una struttura standard per mezzo della seguente formula:

$$T = C_1 \cdot H^{\frac{3}{4}}$$

dove  $H$  (m) è l'altezza dell'edificio dal piano di fondazione e  $C_1$  una costante adimensionale che vale:

- 0,085 per strutture a telaio in acciaio,
- 0,075 per strutture a telaio in calcestruzzo,
- 0,05 per qualsiasi altro tipo di struttura.

Una seconda formula per calcolare il periodo fondamentale  $T$  di una struttura standard è la seguente (UNIFORM BUILDING CODE, 1985):

$$T = 0,09 \frac{H}{\sqrt{D}}$$

dove  $H$  (m) è l'altezza e  $D$  (m) è la larghezza della struttura nella direzione del terremoto.

Tali formule non sempre sono affidabili perché nella realtà subentrano svariati

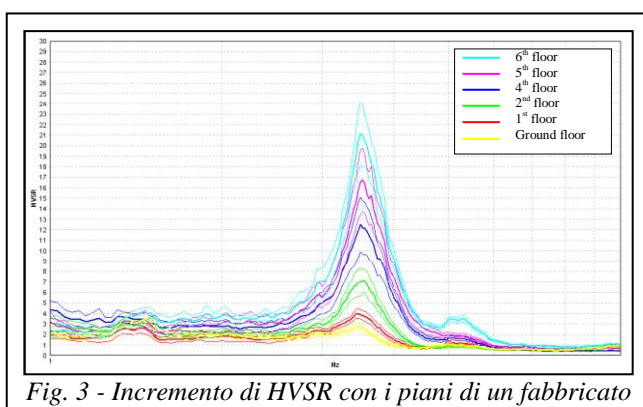


Fig. 3 - Incremento di HVSR con i piani di un fabbricato



parametri (tipologia strutturale, materiali costruttivi, disposizione e dimensione degli elementi strutturali) che influiscono sulle frequenze proprie di vibrazione.

Per valutare il periodo fondamentale  $T$  di una struttura è possibile ricorrere alla tecnica HVSR. Eseguendo, infatti, misure di microtremori sui vari piani di un fabbricato, è possibile individuare un picco persistente delle curve HVSR caratterizzato da un incremento di ampiezza con l'altezza (Fig. 3); la frequenza a cui avviene il suddetto incremento della curva HVSR corrisponde alla frequenza principale di vibrazione della struttura (modo fondamentale); il periodo fondamentale  $T$  viene ottenuto calcolando il valore inverso della frequenza.

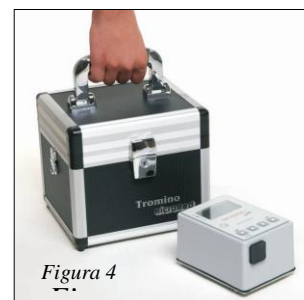
Lo studio delle modalità di crescita del picco *HVSR* permette di determinare l'incremento di amplificazione sismica di una struttura con la sua altezza ed individuare possibili variazioni di rigidità.

### C) Acquisizione ed interpretazione dei dati

Lo strumento utilizzato per le misurazioni è il tromometro digitale "Tromino" della Micromed S.p.A. (Fig. 4), sismografo di dimensioni molto contenute e caratterizzato dall'assemblaggio di n° 6 sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri) con un ampio range frequenziale (0,1-512 Hz), di n° 3 accelerometri e di un sistema GPS integrato.

Le caratteristiche strumentali sono le seguenti:

- *Canali: 3 (simultanei)*
- *Rumore:  $< 0,5 \mu V$  r.s.m. @ 128Hz sampling*
- *Impedenza dell'input: 106 Ohm*
- *Frequenza di campionamento: 16384 Hz per canale*
- *Frequenze di sovracampionamento: 32x, 64x, 128x*
- *Conversione A/D equivalente a 24 bit*
- *Massimo input analogico: 51,2 mV (781 mV/digit)*
- *Sistema di archiviazione: flash memory*



Le misure si eseguono disponendo il tromometro sul terreno e sull'edificio, eseguendo registrazioni di durata variabile da 6 a 16 minuti sull'edificio e da 10 a 30 minuti sul terreno.

L'archiviazione e l'elaborazione dei dati è effettuata con un software specifico ("Grilla"), che permette di suddividere le 3 componenti del segnale registrato in finestre temporali (es. 20 s), per ognuna delle quali vengono calcolati gli spettri in frequenza, vengono lisciati con una funzione di smoothing e vengono mediati al fine di limitare i disturbi indotti da rumori transitori.

### D) Altre "potenzialità" del metodo

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999; Fah *et al.*, 2001; ecc.).

Inizialmente, alcuni ricercatori, trasportati dall'entusiasmo, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco H/V come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione. Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto d'impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica *in modo semplice* (Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005).

E', invece, senz'altro possibile l'utilizzo dei microtrempi a fini stratigrafici o per la determinazione di  $V_{s30}$  mediante l'inversione delle misure sfruttando la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti  $H/V$  misurati con quelli "sintetici", cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D.

L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (per le basi teoriche si veda ad es. Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981; Arai e Tokimatsu, 2004).

In definitiva, se da misure dirette è nota la profondità  $H$  del bedrock o bedrock-like, è immediato calcolare  $V_{s30}$  attraverso misure di frequenza ( $f_r$ ), con le seguenti espressioni utilizzabili rispettivamente per  $H \geq 30$  m e  $H < 30$  m:

$$f_r = \frac{V_{s30}}{4H} \quad V_{s30} = \frac{30}{t_H + t_{30-H}} = \frac{30}{\frac{1}{4f_r} + \frac{(30-H)}{V_B}}$$

In definitiva, con il metodo è possibile ricavare  $V_{s30}$  e anche, ma con molta prudenza e solo sotto l'aspetto qualitativo, le amplificazioni di sito.

## E) Elaborazione

I segnali acquisiti vengono:

1. corretti per la linea di base (sottraendo a ciascun punto la media effettuata sull'intera traccia);
2. corretti da andamenti (trend) anomali (sottraendo la retta della regressione lineare effettuata su tutti i punti della traccia);
3. filtrati con un passa banda tra 0.1 e 64 Hz,

Per ogni segnale si calcola quindi la trasformata di Fourier e successivamente si è effettuata il rapporto spettrale fra le componenti orizzontale e verticale. Tale rapporto è stato smussato con una finestra triangolare al 10% ed il risultato di tale operazione è stato assunto come stima delle funzioni di amplificazione locale di Nakamura.

Tutte le operazioni descritte sono state eseguite mediante un programma applicativo appositamente implementato (**Grilla**).

## BIBLIOGRAFIA

- *Castellaro S.*; 2008: L'uso dei microtremori per la valutazione della risposta di sito.
- *Castellaro S., Mulargia F.*; 2007: Stime di Vs30 a stazione singola tramite misure HVSR vincolate. GNGTS.
- *Conference on Earthquake Engineering Conference Proceedings, 2004.*
- *Dolce M., Masi A.*: Linee guida per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici strategici e rilevanti, 2005.
- *GNGTS – Atti del 21° Convegno Nazionale/05.13.*
- *Herak M.*, Model HVSR-A Matlabs tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. Computers and Geosciences (2008).
- *Mucciarelli M.*; 2003: Alcune considerazioni su pericolosità sismica, classificazione e microzonazione. GEOLOGIA - Territorio e Ambiente - n° 4 aprile 2003.
- *Mucciarelli M., Gallipoli M.R.*, 2000: Misure di amplificazione sismica locale relative ad alcuni centri della Regione Molise.
- *Mucciarelli M., Gallipoli M.R., Di Giacomo D., Di Nota F., Nino E.*; 2005: Effetti del vento sulle misure di rumore ambientale. GNGTS – Atti del 23° Convegno Nazionale/09.05.
- *Mucciarelli M., Gallipoli M.R.*: The HVSR technique from microtremor to strong motion: empirical and statistical consideration. 13 WCEE: 13th World.
- *Mucciarelli M., Gallipoli M.R.*, 2006: Misure di vibrazione ambientale e registrazioni accelerometriche sugli edifici ATER Melfi e loro suoli di fondazione.
- *Mucciarelli M.*, 2004: Determinazione delle funzioni di amplificazione delle vibrazioni indotte a siti diga da un terremoto per mezzo di misure di rumore ambientale.
- *Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L.*, 2007: Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica. Il Geologo dell'Emilia Romagna.
- *Norme Tecniche per le Costruzioni. D.M. 14.01.2008.*
- *Paolucci R.*, Amplificazione del moto sismico in presenza di rilievi topografici.
- *Simonelli A. L.*, Eurocodice 8: valutazione delle azioni sismiche al suolo ed effetti sulla spinta dei terreni.
- *Tromino, 2007*, An introduction to the H/V Inversion for stratigraphic purposes.