

SCOPI STRATIGRAFICO-SISMICI

PROVA DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (METODO HVSR)

L'indagine consiste nella misurazione, e nella successiva elaborazione, del *microtremore ambientale* nelle sue tre componenti spaziali (x, y e z opp. E-W, N-S e Up-Down) a varie frequenze.

Dall'analisi delle componenti spettrali delle tracce registrate è possibile:

- ricavare la frequenza fondamentale (o di risonanza) del sito;
- ottenere un'interpretazione del profilo stratigrafico-sismico ad elevata profondità con stima sulla profondità del bedrock (substrato sismico o litologico) e del parametro VS30 (velocità media delle onde S – di taglio – nei primi 30 metri di profondità).

Per l'Analisi spettrale delle tracce e la modellazione viene utilizzato uno specifico software dedicato (Grilla della MICROMED S.p.a), conforme alle direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME (2005).



Illustrazione 1
Posizionamento del tromografo sul terreno. L'accoppiamento strumento - terreno è garantito dall'infissione di particolari "piedini".

Frequenza fondamentale (di risonanza) del sito

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica¹, in quanto il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione. Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti.

Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla relazione: $f=Vs/4h$ (formula semplificata) dove V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato che risuona e h è lo spessore di detto strato.

La prova, comunemente nota con il termine H/V o HVSR (rapporto tra le componenti spettrali

¹ Si ha risonanza stratigrafica quando si è in presenza di terreni di copertura con spessore superiore a tre metri su di un substrato rigido.

orizzontali H e verticale V) fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989).

Infatti e' proprio dal grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontale e verticale (cfr. Esempio nell'illustrazione n.2) che viene evidenziata la frequenza (o più frequenze se si è in presenza di un profilo stratigrafico multistrato con contrasti di impedenza² significativi) attraverso un "picco" della curva (in genere dovuto ad un minimo della componente verticale, riscontrabile negli spettri delle singole componenti – cfr. Illustrazione n.3).

La frequenza fondamentale del sito è da intendersi quella più significativa a bassa frequenza. Eventuali altre frequenze evidenziate (picchi secondari) se vicine alle frequenze di interesse ingegneristico (struttura) possono essere comunque significative.

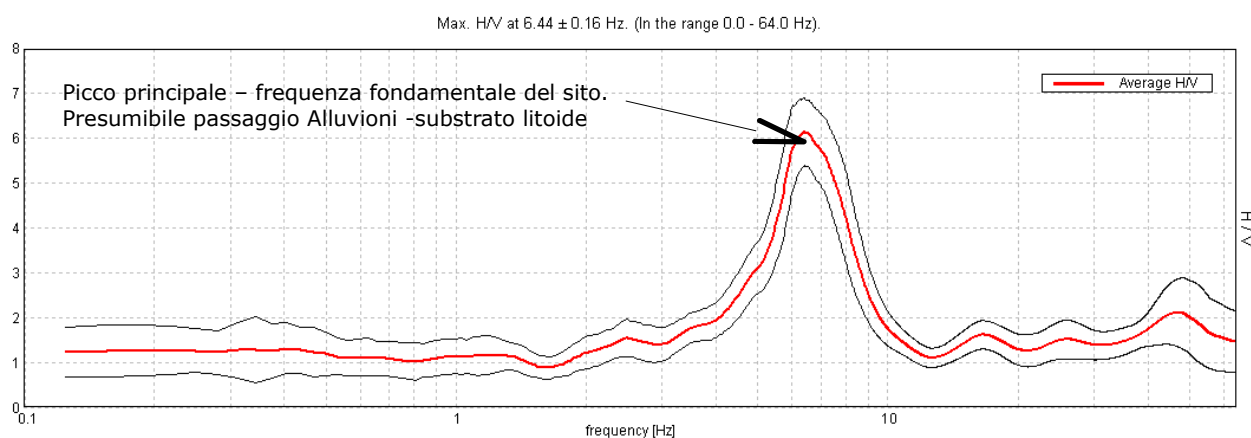


Illustrazione 2: Rapporto spettrale orizzontale su verticale (H/V). Registrazione effettuata in corrispondenza di un sito caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali pleistocenici poggianti su di un substrato di rocce sedimentarie (marne mioceniche).

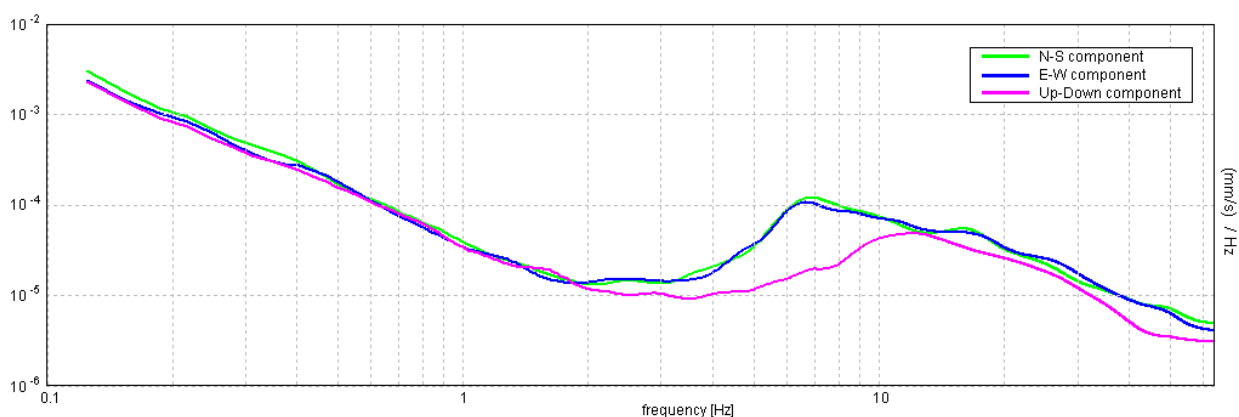


Illustrazione 3: Spettri singole componenti (la forma ad "ogiva" tra tre componenti orizzontali e quella verticale individua un picco certamente di tipo stratigrafico e non di tipo "artefatto")

² Rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso

Le frequenze di risonanza del sottosuolo, costituiscono un parametro fondamentale per i progettisti, i quali devono evitare, o se non è possibile quanto meno tenere in debita considerazione nel dimensionamento delle strutture, i fenomeni di "doppia risonanza" che costituiscono la vera causa delle distruzioni generate da un terremoto.

Profili stratigrafico-simici e parametro Vs 30

La legislazione antisismica (NTC 2008) adotta come parametro fondamentale per la stima degli effetti di sito la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, parametro comunemente chiamato $Vs30$. Stime di $Vs30$ sono perciò necessarie quasi ovunque per la microzonazione sia a grande scala che alla scala dei singoli edifici.

Poiché la misura di $Vs30$ utilizzando le tecniche di prospezione classica *cross-hole* e *down-hole* (tecniche di simica attiva in foro) è molto costosa, è sempre più comune l'uso di metodi alternativi, generalmente basati su misure di tipo passivo. Una tecnica per la misura di $Vs30$ veloce ed economica che fornisce valori con approssimazioni accettabili, è basata sulla inversione dei rapporti spettrali del tremore sismico (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR) registrato da una stazione singola (cfr. paragrafo precedente). La curva sperimentale HVSR viene "fittata"³ con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte il cui picco H/V è individuabile sulla curva sperimentale) di sottosuolo (generalmente noto dalle indagini geotecniche necessarie per legge per ogni progettazione edilizia, come ad esempio prove penetrometriche), basandosi sulla nota equazione che lega la frequenza di risonanza (f) allo spessore (h) dello strato e alla velocità delle onde di taglio (Vs): $f=Vs/4h$ (da cui $h=Vs/4f$).

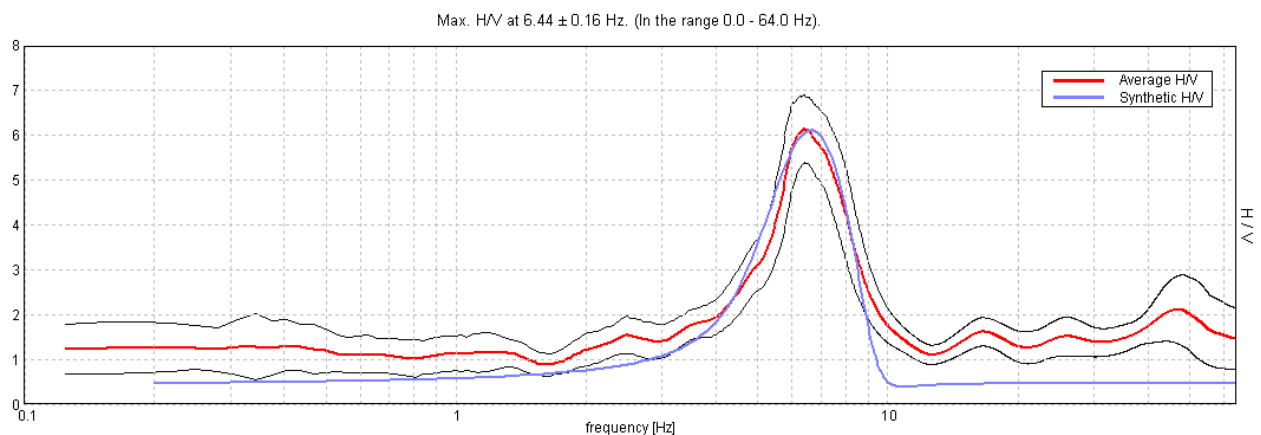


Illustrazione 4: Esempio di "fittaggio" modello teorico. H/V sperimentale (rosso) vs H/V sintetico (blu)

³ In gergo significa *adattare* approssimando il più possibile la curva del modello teorico con quella sperimentale (misurata)

Ad esempio al fit della curva H/V dell'illustrazione 3, basato su taratura di una prova penetrometrica, corrisponde un modello stratigrafico-sismico dell'andamento di Vs con la profondità riassunto nella seguente tabella e nel profilo sottostante:

Litologia presunta	Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson	Densità t/mc
Limo argilloso	4.50	4.50	200	0.35	1,6
Sabbia e limo	6.90	2.40	250	0.35	1,9
Ghiaia e sabbia	9.00	2.10	280	0.35	2
Ghiaia e sabbia in falda	11.50	2.50	280	0.48 (H ₂ O)	2
Marna	-	-	530	0.35	2,2

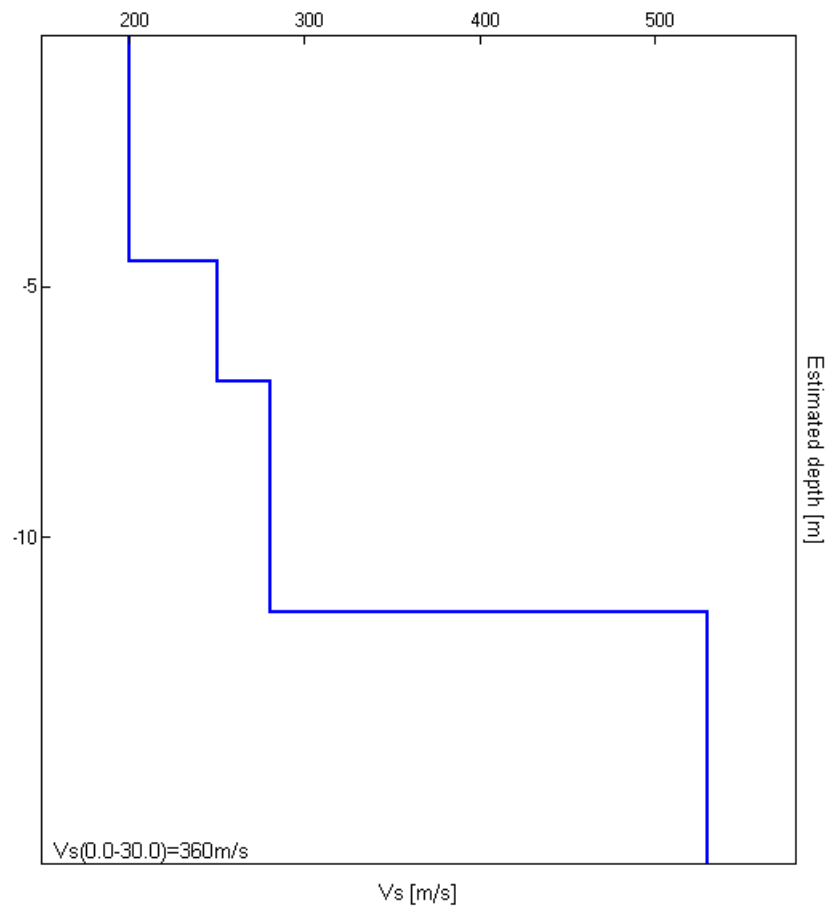


Illustrazione 5: Esempio di profilo sismico (Vs)

Dal profilo sismico ottenuto si può ricavare il valore di V_{s30} (che nel caso in esempio è $V_{s30}=360\text{m/s}$) attraverso la media ponderata del contributo dei vari orizzonti mediante la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove h_i e V_{s_i} sono spessori e velocità dei singoli strati.

SCOPI INGEGNERISTICI ANALISI DINAMICA EDIFICIO

Le frequenze dei modi di vibrare delle strutture (es. edifici) sono influenzate principalmente dalla loro altezza e dal materiale di costruzione. Per edifici standard in c.a. relazioni tipiche sono date dalla figura seguente relativamente al primo modo di vibrare (frequenza fondamentale).

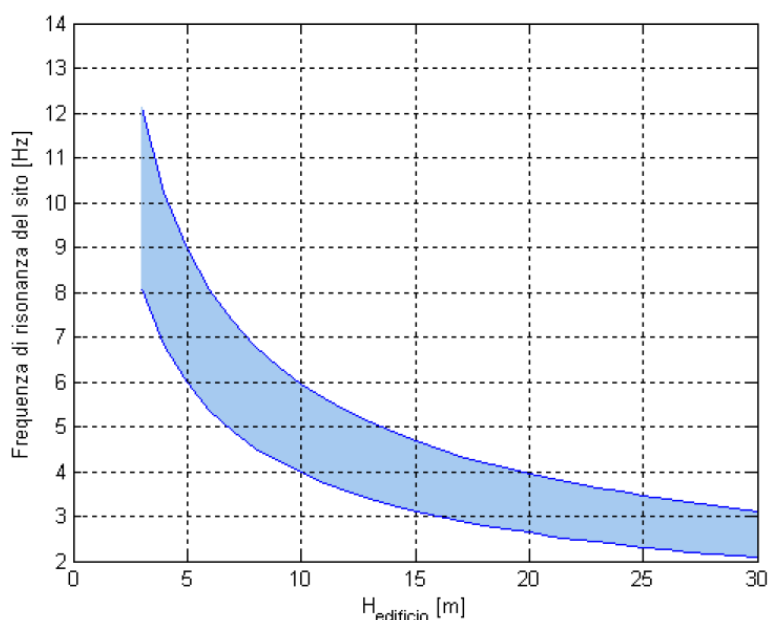


Illustrazione 1: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza. (da Guida all'uso di TROMINO – Micromed S.p.a.)

In caso di mancanza di studi specifici le NTC 2008 (§ 7.3.3.2) consentono l'utilizzo della seguente relazione empirica per risalire al periodo fondamentale⁴ di una costruzione:

$$T_1 = C_1 * H^{3/4}$$

dove: H è l'altezza della costruzione, in metri, dal piano di fondazione e C_1 vale 0,085 per costruzioni con struttura a telaio in acciaio, 0,075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato e 0,050 per costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura.

⁴ Il periodo è l'inverso della frequenza ossia $T=1/F$

Su edifici esistenti la frequenza (o periodo) di vibrazione della costruzione può essere individuata con precisione attraverso misurazione del microtremore ambientale ai vari piani dell'edificio.

La stessa strumentazione (TROMINO della MICROMED S.p.a) utilizzata per la misurazione del microtremore ambientale per scopi stratigrafici è idonea ad essere impiegata anche sulle strutture per la loro caratterizzazione dinamica (modi di vibrare).

Le misurazioni vengono effettuate ai vari piani della costruzione (o almeno al piano terreno e all'ultimo piano), rigorosamente sulla stessa verticale e con l'orientazione degli assi dello strumento coincidenti con quelli (logitudinale e trasversale) dell'edificio.

Diversamente dalla procedura per scopi stratigrafici in cui il grafico significativo era l'H/V, per le strutture occorre fare riferimento al grafico H_i/H_0 dove vengono confrontati gli spostamenti sul solo piano orizzontale (alle varie frequenze) dei vari piani (H_i) rispetto al piano di fondazione (H_0) preso come riferimento. Ciò al fine di rimuovere dalle registazioni l'effetto del sottosuolo (o anche detto effetto di sito).

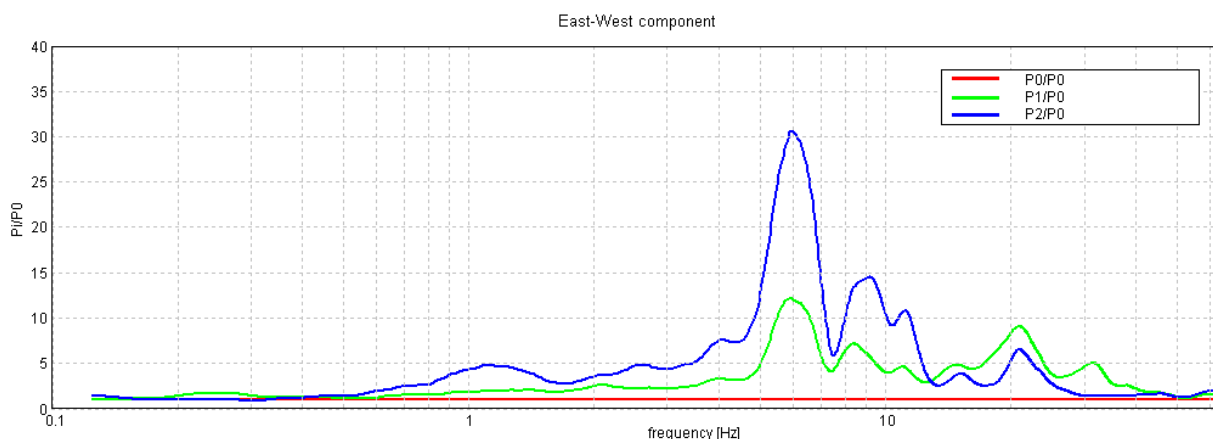


Illustrazione 2: Esempio. Componente trasversale - spostamenti normalizzati a P0 (H0) in un edificio in muratura di due piani

Nel caso dell'illustrazione di cui sopra è ben individuabile la frequenza fondamentale (picco principale) a circa 6Hz. E' palese che risultino spostamenti maggiori via via che si cresce con l'altezza (il modo fondamentale in un oscillatore semplice è il 1° flessionale).

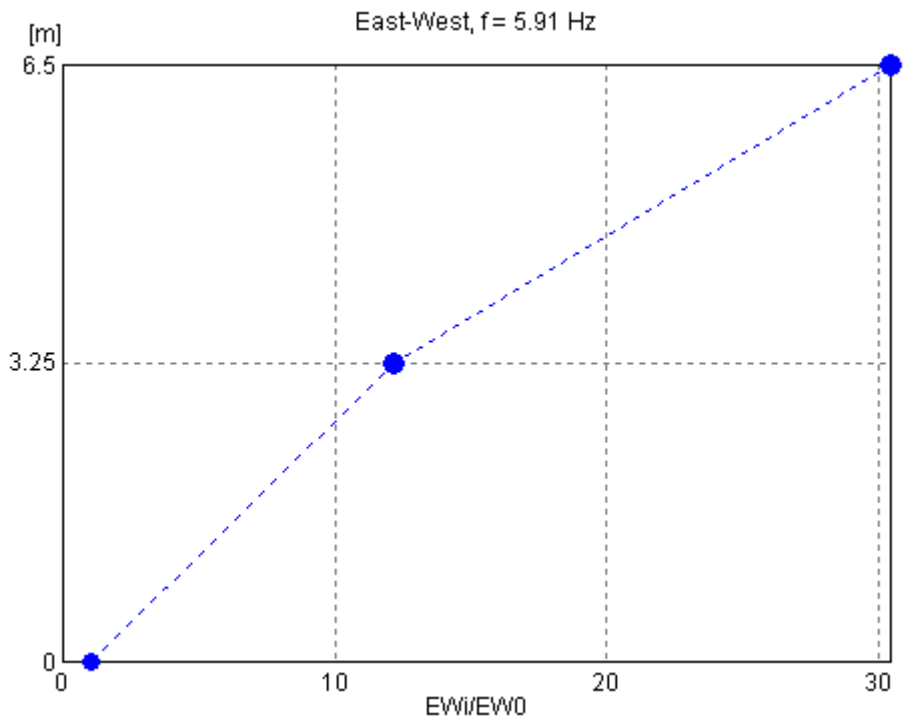


Illustrazione 3: Deformata in corrispondenza della frequenza principale - 1° flessionale relativa al grafico dell'illustrazione 2

Riassumendo: il numero minimo di misure da effettuare per caratterizzare una struttura ed un sottosuolo ai fini dei possibili fenomeni di **doppia risonanza** è **3**. Ossia una misura al piano alto della struttura, una misura al piano di fondazione della struttura (queste due necessarie per risalire alla frequenza fondamentale della struttura) e una misura esterna alla struttura possibilmente su terreno naturale (per risalire alla frequenza fondamentale del sito).