

STIME DI Vs30 A STAZIONE SINGOLA TRAMITE MISURE HVSR VINCOLATE

S. Castellaro e F. Mulargia

Dipartimento di Fisica, Settore di Geofisica, Università di Bologna

La legislazione antisismica di molti paesi 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, nonostante sia dimostrabile che la correlazione di Vs30 con l'amplificazione sismica è modesta ovunque (Mucciarelli e Gallipoli, 2006; Castellaro e Mulargia, 2007a). Poiché la misura di Vs30 utilizzando le tecniche di prospezione classica cross-hole e down-hole è molto costosa, è sempre più popolare l'uso di metodi alternativi, generalmente basati su misure in array di tipo passivo, come ReMi (in ambito professionale), SPAC o ESAC (in ambito scientifico) o attivo, come MASW. Poiché tali tecniche sono relativamente laboriose e non sempre applicabili (ove non ci sia posto per realizzare uno stendimento), esploriamo l'applicabilità di una tecnica per la misura di Vs30 veloce ed economica. Questa tecnica è basata sulla inversione dei rapporti spettrali del tremore sismico (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR) registrato in una stazione singola. La curva sperimentale HVSR viene fittata con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte) di sottosuolo, che è sempre indipendentemente noto dalle indagini geotecniche necessarie per legge per ogni progettazione edilizia.

La procedura di inversione consiste di 3 passi:

1. identificazione di un orizzonte stratigrafico superficiale (di solito ad alcuni metri di profondità),
2. identificazione del marker HVSR corrispondente,
3. fit della curva HVSR teorica utilizzando 1) e 2) come vincoli (Fig. 1).

La curva HVSR teorica è calcolata assumendo un campo di tremore con sorgenti puntuali distanti posizionate casualmente sulla superficie, ed un campo d'onde che si propagano in un mezzo stratificato 1-D, con i coefficienti di accoppiamento di Ben-Menahem e Singh (1981), correzione di stabilità di Dunkin per i propagatori e con valori di $Q=10$ indipendente dalla frequenza.

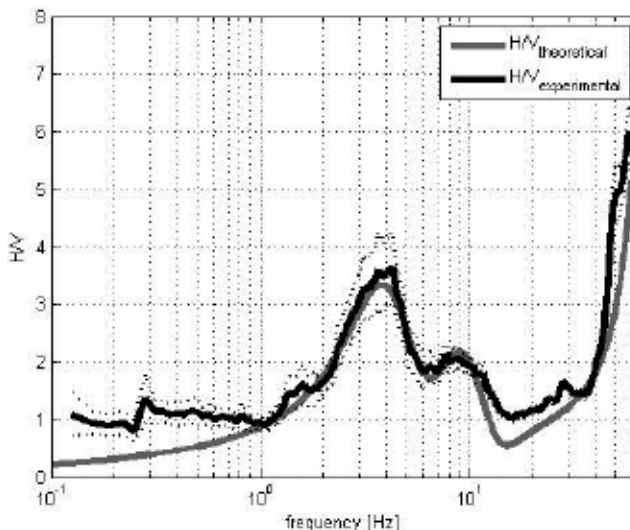


Fig. 1 - Fit della curva HVSR sintetica (linea chiara) e sperimentale (linea scura). Le linee tratteggiate indicano l'intervallo 2 sigma della curva sperimentale HVSR. Il vincolo utilizzato in questi casi è un'interfaccia sedimentaria a 10 m di profondità, a cui corrisponde la "gobba" attorno a 9 Hz.

Il fit della curva HVSR fornisce un modello stratigrafico sismico dell'andamento di Vs con la profondità (Fig. 2) da cui è immediato calcolare Vs30.

Una validazione estensiva di questa tecnica è stata effettuata in una serie di misure in siti del nord e centro Italia che presentano una varietà di assetti geologici. La procedura di validazione è consistita nel:

1. confronto delle curve di dispersione teoriche della velocità di fase delle onde di Rayleigh calcolate sulla base dei modelli derivati dal fit delle curve HVSR con le curve sperimentali misurate con array ReMi ed ESAC;
2. confronto delle stime di Vs30 con la tecnica a stazione singola proposta con quelle ad array ottenute con ReMi ed ESAC,
3. confronto della stratigrafia stimata con l'evidenza geologica superficiale e ogni altra evidenza disponibile.

E' importante notare che la tecnica proposta *non* è una tecnica di inversione congiunta HVSR-array, ma una tecnica HVSR *a stazione singola*. Le misure in array sono state utilizzate in questo caso solo come validazione.

Le acquisizioni HVSR (15'-20' ciascuna)

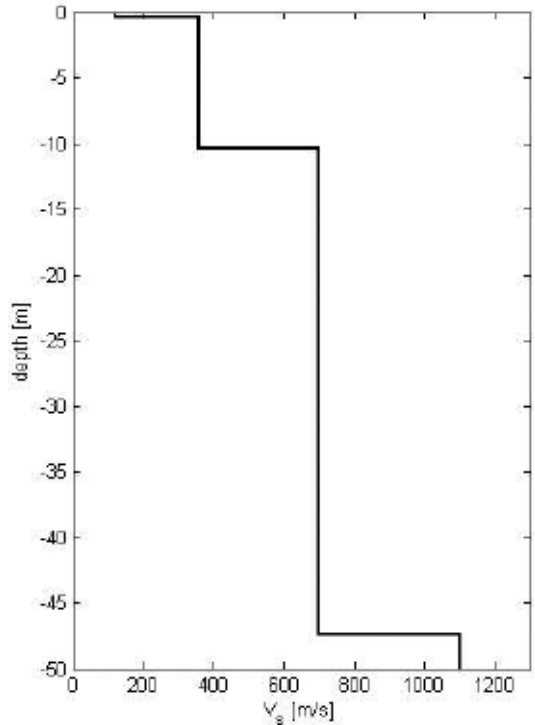


Fig. 2 – La stratigrafia sismica Vs per il modello derivato dall'inversione HVSR di Fig. 1.

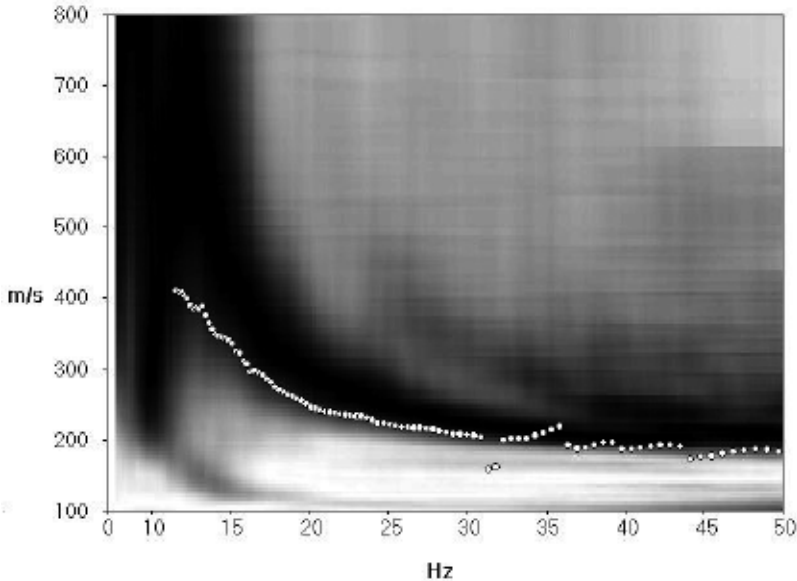


Fig. 3 – La curva di dispersione teorica per il modello derivato dall'inversione HVSR (pallini scuri) assieme alle curve sperimentali ReMi (contour map) e ESAC (pallini chiari) in uno dei casi considerati. Si noti l'ottimo accordo tra le tre tecniche.

sono state effettuate con Tromino e analizzate con software Grilla, mentre le misure in array sono state fatte usando array di Tromino ad apertura sintetica sincronizzati attraverso il canale GPS. Questi array, che hanno utilizzato sino a nove elementi, hanno permesso la misura simultanea HVSR in tutti i nodi. Ciò ha permesso altresì di verificare l'effetto di eventuali modi superiori sia negli array che negli HVSR e di effettuare considerazioni sulla natura 1D o meno del sottosuolo (Mulargia e Castellaro, 2007). Gli array sono stati disegnati per una resilienza ottimale agli alias, utilizzando distanze di spaziatura prime tra loro. La tecnica a stazione singola proposta si è dimostrata capace di fornire curve teoriche di dispersione delle onde di Rayleigh e stime di Vs30 coerenti con quelle misurate dagli array ESAC and ReMi (Fig. 3), nonché un buon accordo con la geologia di superficie. La tecnica proposta appare pertanto come una alternativa veloce e a basso costo per la stima di Vs30 e la classificazione sismica dei suoli secondo la normativa vigente.

Ovviamente, come ogni tecnica, anche quella proposta ha dei limiti. Essi sono:

1. la tecnica proposta si basa su un modello predeterminato del rumore sismico;
2. si fonda sull'assunto 1D del sottosuolo, mentre molto spesso il sottosuolo non è 1D (Mulargia e Castellaro, 2007a). Il grande vantaggio della tecnica HVSR è che essa permette di riconoscere la presenza di eterogeneità laterali mentre le tecniche ad array non lo permettono affatto;
3. poiché l'ampiezza del rapporto H/V a basse frequenze (indicativamente sotto 0.5 Hz) dipende dalle condizioni meteorologiche (Mulargia and Castellaro, 2007b), la tecnica è applicabile solo sopra questa frequenza;
4. poiché l'ampiezza dei picchi H/V dipende in certa misura anche dal liscio adottato, il profilo di Vs è approssimato;
5. nei casi in cui sia presente un'inversione di velocità, l'inversione della curva HVSR diventa più complicata, in quanto le discontinuità stratigrafiche minori vengono mascherate. In questi casi peraltro, la comparsa dei modi superiori nelle corrispondenti registrazioni in array, porta anche queste ultime a soffrire, sia per la scarsa affidabilità del picking che per l'inversione, che diventa instabile.

Bibliografia

- Castellaro S., e Mulargia F.; 2007: Vs30, parametro obbligatorio ma inefficace per la stima dell'amplificazione sismica, Roma, GNGTS.
- Mulargia F. e Castellaro S.; 2007a: The large inaccuracy of measured Vs profiles: non 1-D subsoil? Roma, GNGTS.
- Mulargia F. e Castellaro S.; 2007b: Single station passive seismic stratigraphy to almost 2 km depth, Roma, GNGTS.
- Ben-Menahem A. e Singh S.J.; 1981: Seismic waves and sources, Springer-Verlag, New York, 1108 pp.
- Mucciarelli M. e Gallipoli M.R.; 2006: Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, Conf. Earthq. Eng. and Seismol., Geneva, 3-8 Sept., no. 270.