

Vs30, STIMATORE OBBLIGATORIO MA INEFFICACE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA

S. Castellaro e F. Mulargia

Dipartimento di Fisica, Settore di Geofisica, Università di Bologna

I codici sismici di molti paesi si affidano, per la quantificazione dell'effetto di sito, al parametro detto Vs30, ossia alla velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità. Nonostante l'impiego massicciamente diffuso, dubbi sono stati ripetutamente sollevati sulla capacità del Vs30 di prevedere l'amplificazione del suolo in bacini profondi (Park e Hashash, 2004), in

regioni tettonicamente complesse (Wald e Mori, 2000) o in situazioni particolari come in presenza di inversioni di velocità nel profilo di Vs (Di Giacomo et al., 2005).

E' stato già mostrato sperimentalmente da Mucciarelli e Gallipoli (2006) che in Italia Vs30 non è uno stimatore affidabile del fattore di amplificazione (Fa) in caso di terremoto. Qui mostreremo come l'esigenza di trovare una relazione di qualche tipo tra il fattore di amplificazione e una qualche proprietà del terreno (nel caso in questione il Vs30) sia così forte da portare inavvertitamente a presentare i dati in una forma grafica che enfatizza relazioni inesistenti.

Partiremo dal set di dati originario elaborato in Borchardt (1994), che è il lavoro di riferimento in cui vengono calcolate le relazioni matematiche Fa - Vs30 in funzione del moto di input e delle classi di periodo (breve, medio, lungo). Mostriamo che nemmeno in questo set di dati esiste una relazione lineare tra Fa-Vs30, soprattutto per la classe breve periodo (0.1-0.5 s, 10-2 Hz) che è la classe di maggior interesse in Italia in quanto coinvolge i periodi di risonanza di edifici tra 1 e 5 piani, che sono i più diffusi sul territorio italiano. Si osserva facilmente, sia rappresentando i dati in scala lineare che in scala logaritmica (Fig. 1), che non c'è alcuna correlazione tra Fa e Vs30. Però se si comprime la scala verticale e la si rappresenta tra 0.1 e 100 in ordinata (cfr. fig. 6 in Borchardt, 1994) e si aggiungono le rette di regressione e gli intervalli di confidenza, l'occhio viene ingannato e percepisce un allineamento inesistente. Tuttavia il semplice calcolo del coefficiente di correlazione R² mostra che esso è praticamente nullo (0.06) per la classe a breve periodo estremamente basso (0.30) per le altre.

In ogni caso, se anche vi fosse una relazione lineare tra Fa e Vs30, la regressione standard non sarebbe il metodo più adatto per calcolarla. Il profilo di Vs si misura infatti attraverso metodi sismici diretti (cross-hole, down-hole, cono sismico) oppure, a costi inferiori, tramite indagini di superficie attive (rifrazione SH, SASW, MASW, FTAN ecc.) o passive (SPAC, ESAC, ReMi, ecc.) o ancora, si può misurare con la tecnica HVSR a stazione singola (Castellaro e Mulargia, 2007) o stimare da altri parametri geotecnici quali N_{SPT} (numero di colpi in una prova penetrometrica standard) o la coesione non drenata.

Ognuna di queste tecniche ha una sua incertezza intrinseca, che varia come l'inverso del suo costo solo in prima approssimazione e va da qualche percento nelle prove cross-hole in condizioni di sottosuolo ideale a diverse decine di percento. Il fatto che l'incertezza sul Vs30 non sia trascurabile rispetto all'incertezza su Fa ha una conseguenza importante nella relazione Fa-Vs30: la regres-

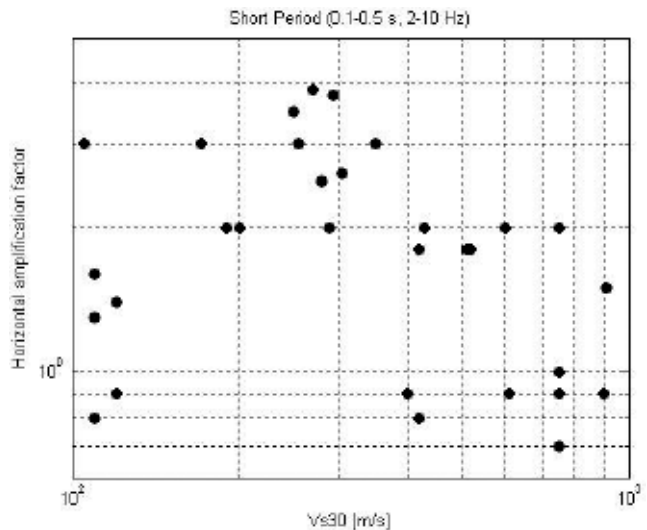


Fig. 1 – Punti di coordinate (Vs30, fattore di amplificazione orizzontale) nel campo di periodo breve (0.1-0.5 s) per il terremoto di Loma Prieta (1989), tratti da Borchardt (1994). E' evidente l'assenza di correlazione tra i due parametri.

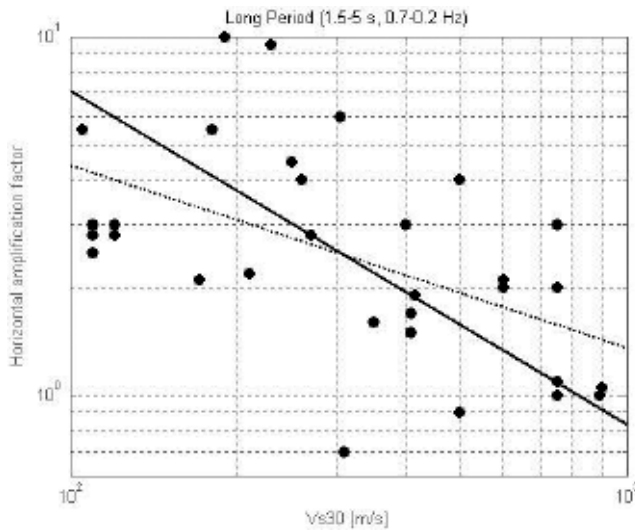


Fig. 2 – Regressione lineare (a tratteggio) e regressione ortogonale (continua) sul dataset (Vs30, fattore di amplificazione orizzontale) nel campo di periodo lungo (1.5-5 s) per il terremoto di Loma Prieta (1989). Dataset tratto da Borcherdt (1994).

sione tra i due parametri non può avvenire attraverso il metodo standard, poiché questo assume che l'errore sulla stima di Vs30 sia trascurabile, mentre è noto che esso è normalmente intorno al 20-30%. Anche in questo caso, come in molti altri in geofisica (Castellaro et al., 2006; Castellaro e Bormann, 2007), l'uso della regressione lineare standard quando gli assunti di base non sono soddisfatti può portare a gravi errori.

Applicando quindi una regressione ortogonale che tenga conto dell'errore su entrambe le variabili in gioco si osserva che la relazione Fa-Vs30 viene comunemente sotto-stimata di quasi un fattore 1.75 per basse Vs30 (per es. per Vs30 = 100 m/s la regressione ortogonale darebbe Fa = 7, la regressione standard poco maggiore di 4, Fig. 2).

In conclusione, sebbene vada riconosciuto che le Vs sono signifi-

cative ai fini della determinazione degli effetti di sito (trattandosi di un parametro legato alla rigidità dei terreni), è il Vs30 a non avere relazione diretta con il fattore di amplificazione nemmeno nell'insieme di dati in cui esso fu usato per la prima volta. Le ragioni per cui questa relazione non esiste sono facilmente intuibili: non è *solo* la rigidità nei primi 30 m di terreno a determinare amplificazione ma anche l'entità dei contrasti di impedenza nel sottosuolo (fino anche a km di profondità!) che determina l'intrappolamento delle onde in superficie. Solo in rari casi la stima delle Vs a 30 m può rendere conto di detti contrasti di impedenza. Tuttavia, se proprio si vuole perseguire nella ricerca di una relazione lineare tra Vs30 e fattore di amplificazione, è necessario farlo applicando tecniche di regressione opportune, diverse dalla regressione lineare standard, in quanto non sono soddisfatti gli assunti di base per la sua applicabilità.

Bibliografia

Borcherdt R.D.; 1994: Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification), *Earthquake Spectra*, 10, 617-653.

Castellaro S. e Bormann P.; 2007: Performance of different regression procedures on the magnitude conversion problem, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 97, 1167-1175.

Castellaro S., Mulargia F. e Kagan Y.Y.; 2006: Regression problems for magnitudes, *Geophys. J. Int.*, 165, 913-930.

Castellaro S. e Mulargia F.; 2007: Stime di Vs30 a stazione singola tramite misure HVSr vincolate, *NGGTS 2007*.

Park D. e Hashash Y.M.A.; 2004: Probabilistic seismic hazard analysis with non linear site effects in the Mississippi embayment, *Proc. 13th World Conf. Earthq. Eng. Vancouver, CD-Rom Edition*, paper n. 1549.

Mucciarelli M. e Gallipoli M.R.; 2006: Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th ECEE and 30th General Assembly of the ESC, Geneva, Switzerland, 3-8 Sept., Paper no. 270*.

Wald L. A. e Mori J.; 2000: Evaluation of methods for estimating linear site-response amplifications in the Los Angeles region, *Bull. Seism. Soc. Am*, 90, S32-S42.