POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Valutazione dei metodi semplificati proposti nelle NTC18 per la stima degli effetti di sito: un approccio stocastico

Original
Valutazione dei metodi semplificati proposti nelle NTC18 per la stima degli effetti di sito: un approccio stocastico / Aimar, M., Ciancimino, A., Foti, S.. - CD-ROM. - A2:(2018). (Incontro annuale dei ricercatori di geotecnica Genova 4/6-7-2018).

Availability:
This version is available at: 11583/2710946 since: 2018-07-18T09:06:35Z

Publisher:
Associazione Geotecnica Italiana

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

27 November 2026

VALUTAZIONE DEI METODI SEMPLIFICATI PROPOSTI NELLE NTC18 PER LA STIMA DEGLI EFFETTI DI SITO: UN APPROCCIO STOCASTICO

Mauro Aimar
Politecnico di Torino
mauro.aimar@polito.it

Andrea Ciancimino
Politecnico di Torino
andrea.ciancimino@polito.it

Sebastiano Foti
Politecnico di Torino
sebastiano.foti@polito.it

Sommario

La valutazione degli effetti di sito è di rilevante importanza nella definizione dell'azione sismica di progetto. A tal proposito, negli ultimi anni, sono stati proposti diversi approcci volti alla stima semplificata della risposta sismica locale.
Il presente studio si pone come obiettivo la valutazione dei metodi semplificati proposti nelle nuove NTC18. Il metodo adottato si basa su simulazioni lineari viscoelastiche equivalenti effettuate su un database di modelli 1D di sottosuolo, generati secondo una procedura stocastica. L'input sismico di riferimento consiste in diversi set di accelerogrammi mediamente spettro-compatibili, riferiti a siti caratterizzati da livelli di sismicità crescenti. L'analisi dei risultati ottenuti ha permesso di valutare le previsioni proposte dalla normativa mediante parametri sintetici dell'amplificazione sismica, in termini di attendibilità e dispersione.

1. Introduzione

Nella previsione dell'azione sismica assumono un ruolo centrale le condizioni geologiche locali. La valutazione del loro effetto richiederebbe un'analisi specifica di risposta sismica locale (RSL), volta a individuare il condizionamento del moto sismico operato dal deposito di terreno interessato. Questa soluzione, per quanto rigorosa, non è percorribile in numerose applicazioni di progettazione ordinaria, poiché richiederebbe l'esecuzione di una dettagliata campagna di caratterizzazione e il ricorso a metodi sofisticati di analisi. Ciò ha spinto verso l'introduzione di un approccio semplificato, che sintetizzi le caratteristiche del fenomeno dell'amplificazione sismica mediante un coefficiente, funzione delle condizioni di sito. Molti sistemi normativi in uso (e.g. EC8) adottano questo schema secondo un sistema di classificazione basato sulla velocità equivalente ($V_{S,30}$). D'altra parte, numerosi studi hanno messo in evidenza le limitazioni correlate a questo parametro, proponendo nuovi sistemi descrittivi delle condizioni di sito (e.g. Pitilakis et al., 2013).
Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18) introducono un nuovo sistema di classificazione, funzione della velocità equivalente del deposito di terreno ($V_{S,eq}$) e della profondità del bedrock sismico. In particolare, il valore di velocità non è più vincolato a una profondità fissa ma tiene conto della presenza del bedrock, qualora questo sia superficiale. Non sono invece state introdotte variazioni nei valori prescritti dei coefficienti di amplificazione sismica.

L'obiettivo dello studio è la valutazione dell'attendibilità delle indicazioni delle NTC18, in termini di sistema di classificazione e valori proposti per i coefficienti di amplificazione. A tal fine, è stata predisposta un'analisi stocastica di RSL su una collezione di 91.500 profili di suolo, soggetti a un insieme di accelerogrammi rappresentativi della sismicità nel territorio italiano. I risultati sono stati valutati in termini di dispersione e confrontati con i valori proposti da normativa.

2. Metodologia

Nella valutazione numerica dell'amplificazione stratigrafica si è adottato uno schema mono-dimensionale per la geometria del problema; la descrizione del comportamento non lineare del suolo avviene secondo il modello visco-elastico lineare equivalente (Seed e Idriss, 1968). La valutazione della RSL è stata condotta con il codice di calcolo SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992).
In seguito, si descrivono i dettagli riguardo la generazione del database di modelli di sottosuolo e la definizione dell'input sismico.

2.1 Generazione dei modelli di sottosuolo

La procedura impiegata per la generazione dei modelli di sottosuolo consiste nella randomizzazione di un insieme di profili stratigrafici reali, attraverso una simulazione Monte-Carlo in cui i parametri geotecnici di interesse sono generati in modo casuale da una distribuzione statistica.
I dati relativi ai depositi reali sono stati estratti da banche dati accreditate, sia di carattere nazionale o internazionale (ITACA, SED e progetto SISMOVALP) sia di carattere regionale (VEL, SGSS e database Regione Umbria). A questi si aggiungono dei siti le cui indicazioni sono state messe a disposizione da Foti e Capilleri [Comunicazione Personale]. Il risultato di questa attività di ricerca consiste in una collezione di 252 siti (Figura 1.a), corredata da informazioni di natura geologica e geotecnica.
La generazione dei modelli di sottosuolo prevede preliminarmente la generazione di profili di V_S rispetto alla profondità, mediante una simulazione Monte-Carlo i cui dettagli sono descritti in Passeri et al. (2018). In assenza di adeguate informazioni in merito alle proprietà statistiche dei parametri di interesse, si sono adottati i parametri statistici proposti da Toro (1995).
In seguito, è stata effettuata una selezione dei modelli 1D rispetto alle categorie di sottosuolo definite nella NTC18. La selezione ha seguito due criteri: da una parte, si assegna a ogni categoria di sottosuolo lo stesso numero di modelli, in modo da garantire uguale rappresentatività nell'analisi; dall'altra parte, si cerca di ottenere una regolare distribuzione dei modelli in ciascuna categoria, in modo da poter considerare diverse condizioni di sito con ugual peso. A tal scopo, ogni singola categoria di sottosuolo, rappresentata da una regione nel dominio $V_{S,eq}$-H, è stata discretizzata secondo un sistema di 100 blocchi con uguali dimensioni, come mostrato in Figura 1.b. A ciascun blocco è assegnato un numero massimo di modelli che può contenere al suo interno, pari a 200 elementi. Un'eccezione è rappresentata dai blocchi che costituiscono la porzione triangolare superiore della regione che rappresenta la classe B, in cui il numero è ridotto a 20. Tale porzione infatti include modelli di depositi profondi e rigidi nella porzione superficiale (es. stratificazioni profonde in roccia alterata), la cui rarità giustifica la scelta di attribuire un minor peso a tale zona. Il risultato è una collezione di 91.500 modelli 1-D di sottosuolo, che mira a rappresentare in egual misura diverse possibili condizioni di sito di interesse ingegneristico.
La fase finale della procedura di generazione dei modelli di sottosuolo consiste nell'assegnazione delle rimanenti grandezze utili per le analisi di RSL, quali il peso unitario, l'indice di plasticità, il grado di sovraconsolidazione, il coefficiente di spinta a riposo e la profondità di falda.
Tale operazione richiede l'assegnazione del tipo di materiale a ogni strato del modello, in quanto necessario per la selezione dei parametri e delle curve non lineari. Il tipo di materiale è derivato dalla stratigrafia del deposito reale di partenza, se disponibile. In caso contrario, la tipologia di materiale è dedotta dal valore di velocità V_S e della profondità, attraverso la formula empirica di Ohta e Goto (1978), che restituisce un fattore direttamente legato al tipo di suolo.

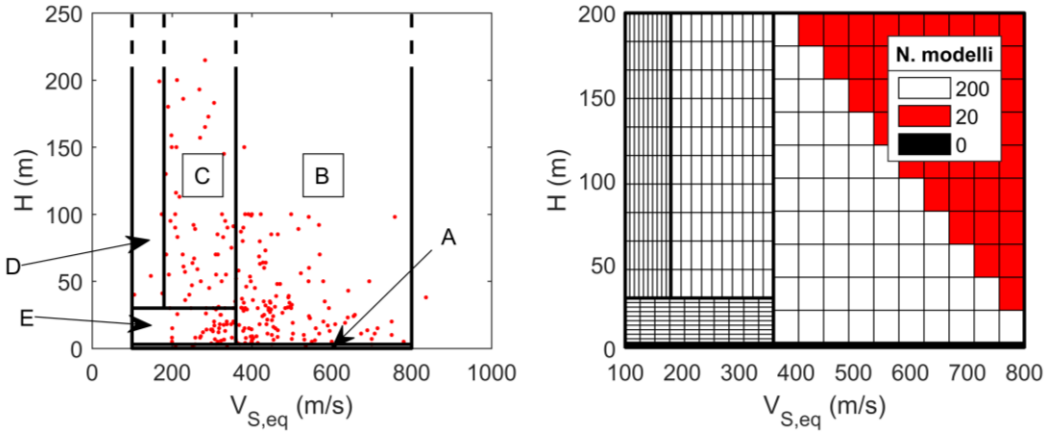

Figura 1. a. Profili di partenza e b. Schema di ricampionamento.

Le curve non lineari impiegate nelle analisi sono ricavate a partire dai seguenti modelli di letteratura: modello di Darendeli (2001) nel caso di materiali sabbiosi e argillosi; modello di Rollins (1998) nel caso di materiali ghiaiosi; modello di Idriss e Sun (1992) nel caso di materiali rocciosi.
La definizione dei rimanenti parametri avviene invece secondo la procedura adottata in Ciancimino et al. (2018), nel caso di materiale sabbioso o argilloso. Negli altri materiali, l'indice di plasticità è nullo e, nel caso delle rocce, il peso unitario è stato posto pari a 22 kN/m^3.

2.2 Input sismici

L'azione sismica è costituita da una collezione di storie temporali di accelerazione al suolo che mirano a coprire la gamma delle caratteristiche di sismicità del territorio italiano.
Si è fatto riferimento a 4 siti aventi un diverso livello di sismicità, per ciascuno dei quali si sono selezionati 7 accelerogrammi naturali compatibili con lo spettro elastico di riferimento (T_R=475 anni) nel campo di periodi tra 0.02 s e 2 s. L'adozione di tale strategia è dovuta alla sito-dipendenza dei fattori di amplificazione stratigrafica proposti dalla normativa. I siti di riferimento (in Tabella 1) ricoprono in maniera adeguata il range delle accelerazioni di picco attese al suolo. La selezione degli input sismici dalle principali banche dati nazionali e internazionali (ITACA, ESM, ESD e NGA-West2) è stata effettuata nel rispetto del criterio di sismo-compatibilità, garantendo la spettro-compatibilità mediante l'ausilio del software Inspector (Acunzo et al. 2014).

Tabella 1. Posizione geografica e parametri di pericolosità dei siti di riferimento.

Località	Latitudine	Longitudine	a_g [m/s^2]	F_0 [-]	T_C^* [s]
Termeno S.V.	46°.36 N	11°.24 E	0.540	2.611	0.343
Godrano	37°.83 N	13°.42 E	1.159	2.487	0.323
Urbino	43°.68 N	12°.59 E	1.739	2.445	0.327
Atina	41°.63 N	13°.75 E	2.545	2.343	0.340

3. Risultati e discussione

3.1 Parametri di amplificazione

Per descrivere l'amplificazione stratigrafica all'interno dei risultati delle analisi di RSL, si è deciso di fare riferimento a un numero di parametri sintetici di natura spettrale, in modo simile a quanto fatto in Ciancimino et al. (2018). I parametri considerati sono in seguito riportati.

- Fattore di amplificazione spettrale al periodo zero, corrispondente al rapporto tra l'accelerazione di picco valutata in superficie e l'accelerazione di picco in input.

$$F_{T=0\,s} = \frac{PGA_S}{PGA_i}$$

- Fattore globale di amplificazione spettrale, definito secondo la formulazione integrale già impiegata da Rey et al. (2002).

$$SA = \frac{I_S}{I_i}, \qquad I = \int_{0.05}^{2.5} S_e(T)dT$$

- Fattore di forma, definito come rapporto tra i parametri introdotti in precedenza, che quantifica la traslazione dello spettro di risposta verso periodi di vibrazione più elevati rispetto a quello in input.

$$SR = \frac{SA}{F_{T=0\,s}}$$

3.2 Dispersione dei risultati

I risultati delle analisi di RSL sono stati raggruppati per categorie e per essi è stato effettuato un calcolo di dispersione statistica, descritta attraverso il coefficiente di variazione. In questa sede, si mostrano soltanto i risultati relativi al fattore globale di amplificazione spettrale, in quanto riassuntivo dell'amplificazione a diversi periodi spettrali. Dal punto di vista statistico, si assume che i dati entro ciascuna categoria presentino una distribuzione di tipo log-normale.
I risultati (Tabella 2) presentano una variabilità compresa tra il 20% e il 30% nei modelli più deformabili. La variabilità è relativamente elevata in quanto ogni categoria di sottosuolo include una vasta gamma di condizioni di sito, aventi diverse caratteristiche dal punto di vista stratigrafico e geotecnico.

Tabella 2. Coefficienti di variazione del fattore globale di amplificazione spettrale.

Sito di riferimento	B	C	D	E	$\overline{CV}$ *(%) per sito*
Termeno S.V.	20.8	18.4	21.9	17.8	*19.7*
Godrano	19.8	19.0	26.1	15.9	*20.2*
Urbino	19.1	21.1	28.2	15.7	*21.0*
Atina	18.0	21.1	27.3	13.9	*20.2*
$\overline{CV}$ *(%) per categoria*	*19.4*	*20.0*	*25.9*	*20.2*	

3.3 Confronto tra i risultati e i valori di normativa

La verifica di attendibilità dei valori proposti per i fattori di amplificazione stratigrafica avviene con riferimento ai parametri sintetici introdotti in precedenza, mediante sovrapposizione della distribuzione dei risultati con il valore puntuale ottenuto mediante l'applicazione delle prescrizioni di norma, per ogni classe di sottosuolo.
A titolo esemplificativo si riporta in Figura 2 il confronto con riferimento al sito di Godrano. Analoghi risultati possono essere dedotti in riferimento agli altri siti studiati.
È immediato riscontrare come le formulazioni proposte dalle NTC18 tendano a sottostimare $F_{T=0\,s}$ rispetto ai risultati ottenuti. Ciò avviene in modo sistematico per tutte le categorie di sottosuolo. La situazione cambia se si considera il fattore globale SA: le NTC18 forniscono dei valori che si allineano in modo coerente alla distribuzione dei risultati nelle categorie B e C, dando addirittura luogo una sovrastima nei siti più deformabili. Di conseguenza, il rapporto di forma SR, confrontabile con il valore C_C proposto nelle NTC18, è caratterizzato da una sovrastima sistematica rispetto ai risultati dell'analisi.
È infine interessante analizzare il confronto diretto tra la distribuzione dei risultati e i valori proposti dalle NTC18. Con riferimento al parametro SA (Figura 3), la nuvola di punti ottenuti dalle analisi manifesta un trend rispetto a $V_{S,eq}$ mentre la norma trascura tale aspetto, definendo un valore costante in ogni categoria di sottosuolo. Al fine di migliorare la precisione nella stima dell'amplificazione stratigrafica, potrebbe essere dunque utile introdurre una variazione graduale dei fattori di amplificazione rispetto a $V_{S,eq}$. Questa considerazione si applica anche agli altri parametri di amplificazione e alla categoria E.

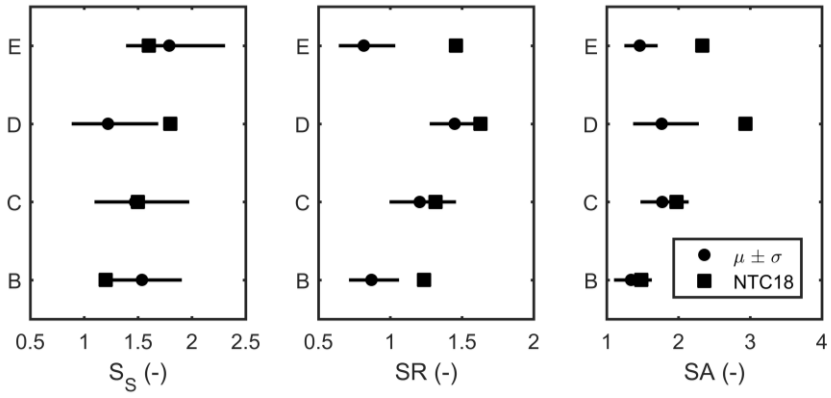

Figura 2. Confronto tra i fattori ottenuti mediante le analisi numeriche e i valori teorici per il sito di Godrano.

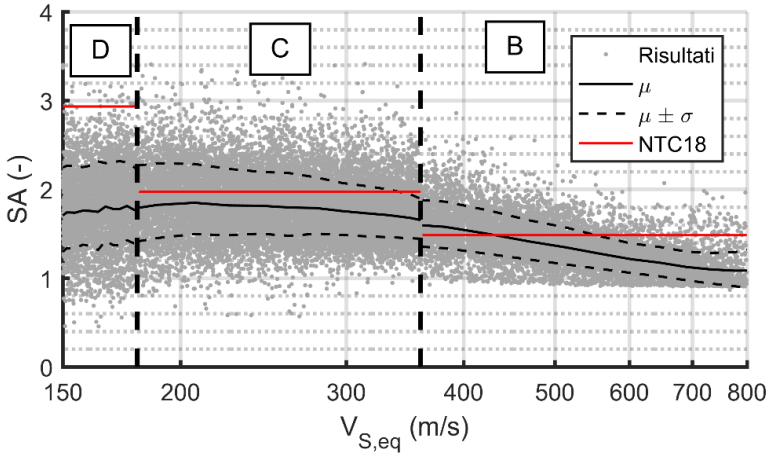

Figura 3. Confronto tra la distribuzione dei risultati e i valori proposti per il sito di Godrano.

4. Conclusioni

Nel presente studio è stata effettuata un'analisi stocastica di RSL con la finalità di valutare l'efficacia del sistema di classificazione e dei coefficienti di amplificazione proposti dalle NTC18.
Si è innanzitutto evidenziato un grado relativamente elevato di dispersione dei risultati all'interno di ciascuna categoria di sottosuolo, con un coefficiente di variazione compreso tra 15% e 25%.
In merito ai fattori di amplificazione, si è osservato che le prescrizioni delle NTC18 tendono a dare una sottostima rispetto ai risultati delle analisi in termini del parametro S_S, sovrastimando invece il coefficiente C_C. Ciò si traduce in un buon allineamento in termini di fattore globale di amplificazione, che implica una buona attendibilità dei valori per le applicazioni di natura strutturale, dove lo spettro di risposta è l'elemento in input. D'altra parte, la sottostima del fattore S_S implica una sottostima dell'accelerazione di picco, che si ripercuote negativamente nelle applicazioni che richiedono tale parametro come dato in input, ad es. valutazioni semplificate di tipo geotecnico.
In ogni caso, sono richiesti ulteriori studi, mediante analisi non lineari al fine di integrare il database di profili per i modelli più deformabili sotto azioni sismiche elevate in modo che si adatti meglio allo schema di classificazione proposto dalle NTC18.

Bibliografia

Acunzo G., Pagliaroli A., Scasserra G. (2014). "In-Spector: un software di supporto alla selezione di accelerogrammi naturali spettrocompatibili per analisi geotecniche e strutturali". 33° Convegno Nazionale GNGTS, Bologna 25-27 novembre 2014, volume 2, 107-114.

Ambraseys N., Smit P., Sigbjornsson R., Suhadolc P., Margaris B. (2002). "Internet-Site for European Strong-

Motion Data". European Commission, Research-Directorate General and Climate Progress.

Ancheta T.D., Darragh R.B., Stewart J.P., Seyhan E., Silva W.J., Chiou B.S.J., Wooddell K.E., Graves R.W., Kottke A.R., Boore D.M., Kishida T., Donahue J.L. (2013). "PEER NGA-West2 Database".

CEN (European Committee for Standardization) (2004). "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. EN1998-1". Brussels, Belgium.

Ciancimino A., Foti S., Lanzo G. (2018). "Stochastic analysis of seismic ground response for site classification methods verification", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 111(2018), 169-183.

Darendeli M.B. (2001). "Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves". Ph.D. dissertation, The University of Texas at Austin.

Idriss I.M., Sun J.I. (1992). "SHAKE91: a computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits". Davis, CA: Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California.

Lacave C., Lemeille F. (2006). "Seismic hazard and alpine valley response analysis: generic valley configurations". First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology.

Luzi L., Pacor F., Puglia R. (2017). "Italian Accelerometric Archive v 2.2". Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Dipartimento della Protezione Civile Nazionale.

Luzi L., Puglia R., Russo E., ORFEUS WG5 (2016). "European Strong Motion Database version 1.0". Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories and Research Facilities for European Seismology.

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2018). "D.M. 17/01/2018. Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»".

Ohta Y., Goto N. (1978). "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, 167-187.

Passeri F., Aimar M., Foti S. (2018). "Modelli geostatistici per la valutazione delle incertezze e delle variabilità dei profili di V_S". IARG 2018, Genova.

Pitilakis K., Gazepis C., Anastasiadis A. (2013). "New code site classification, amplification factors and normalized response spectra based on a worldwide ground-motion database", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11(4), 925-966.

Regione Emilia Romagna (2015). "Sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano-romagnola".

Regione Toscana (2015). "Valutazione effetti locali".

Regione Umbria (2015). "Banca dati delle indagini geognostiche e geofisiche per Google Earth".

Rey B.J., Faccioli E., Bommer J.J. (2002). "Derivation of design soil coefficients (S) and response spectral shapes for Eurocode 8 usign the European Strong-Motion Database". *Journal of Seismology*, 6, 547-555.

Rollins K.M., Evans M.D., Diehl N.B., Daily III, W.D. (1998). "Shear modulus and damping relationships for gravels", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(5), 396-405.

Seed H.B., Idriss I.M. (1968). "Seismic response of horizontal soil layers", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 94, 1003-1031.

Swiss Seismological Service (SED) at ETH Zurich (2015). "The Site Characterization Databse for Seismic Stations in Switzerland". Federal Institute of Technology, Zurich.

Toro G.R. (1995). "Probabilistic models of site velocity profiles for generic and site-specific ground-motion amplification studies". Department of Nuclear Energy Brookhaven National Laboratory, Upton, New York.