

L'EFFETTO DELLE REPLICHE SULLE AZIONI SISMICHE DI PROGETTO IN ITALIA

I. Iervolino

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II., Napoli, Italy

Le norme di progettazione strutturale, se avanzate, prevedono che le accelerazioni sismiche di progetto derivino dalla analisi probabilistica di pericolosità sismica (APPS; McGuire, 2004). La APPS fornisce, per un sito di interesse, i valori di una misura di intensità dello scuotimento (MI) che corrispondono a una serie di tassi di eccedenza (la cosiddetta curva di pericolosità). La MI è, in genere, l'ordinata di uno spettro in pseudo-accelerazione e la struttura deve essere progettata per valori di MI corrispondenti a tassi che sono funzione della prestazione sismica desiderata.

Anche se gli eventi sismici si verificano generalmente concentrati nello spazio e nel tempo (sequenze sismiche), la APPS descrive l'occorrenza dei terremoti mediante processo di Poisson omogeneo (PPO). Questo modello viene utilizzato per determinare le azioni sismiche di progetto in Italia, sebbene altri processi possano essere utilizzati per la APPS (si veda a esempio Beauval *et al.*, 2006, o Polidoro *et al.*, 2013). Dall'ipotesi di PPO per l'occorrenza dei terremoti, consegue che gli eventi che causano il superamento di un dato valore di MI a un sito di interesse occorrono ancora secondo un PPO (Cornell, 1968). Per essere compatibile con quest'ipotesi di modellazione, la APPS considera solo i terremoti principali, in genere i terremoti di magnitudo maggiore all'interno di ciascuna sequenza. Per identificare le sequenze ed estrarre i terremoti principali si utilizzano procedure generalmente note come *de-raggruppamento del catalogo* (e.g., Gardner e Knopoff, 1974).

Per scopi di valutazione e gestione del rischio a breve termine durante sequenze sismiche, è stata sviluppata la APPS per le repliche o APPS-R (Yeo e Cornell, 2009). La APPS-R modella l'occorrenza di scosse di replica tramite il processo di Poisson non omogeneo (PPNO), il cui tasso è funzione sia del tempo trascorso dal terremoto principale sia della sua magnitudo, attraverso la legge Omori modificata (Utsu, 1961). Poiché le sequenze di terremoti, che includono terremoti che precedono e seguono quello principale, si verificano con lo stesso tasso di occorrenza dei terremoti principali, è possibile combinare APPS e APPS-R per includere le repliche nella APPS, sebbene utilizzando il catalogo in cui le repliche sono state rimosse. Infatti, è stata recentemente presentata la analisi di pericolosità basata su sequenze sismiche (APPS-S), Iervolino *et al.* (2014, 2018). Per ogni dato valore di MI, la APPS-S fornisce il tasso di occorrenza di sequenze sismiche in grado di causarne il superamento al sito di interesse, e i suoi principali vantaggi sono:

- (1) è probabilisticamente rigorosa nel quadro delle ipotesi di APPS e APPS-R;
- (2) consente di conservare l'ipotesi del PPO per l'occorrenza delle sequenze;
- (3) evita i problemi dei cataloghi relativi alla completezza rispetto alle scosse di replica (si veda anche Marzocchi e Taroni, 2014).

Va anche sottolineato che la APPS-S, sebbene stimolata dal lavoro di Boyd (2012), è diversa principalmente perché: (i) non considera terremoti che precedono quello principale; (ii) fa ricorso alla APPS-R per descrivere l'occorrenza delle scosse di replica; e (iii) fornisce una analitica estensione analitica del classico integrale di pericolosità.

Per quantificare l'effetto delle scosse di replica sulle accelerazioni di progetto, la SPSHA è stata applicata al caso italiano per sviluppare mappe di (pseudo) accelerazioni spettrali corrispondenti a quattro periodi di ritorno del superamento, cioè quelli che sono più comuni per la progettazione delle strutture secondo il codice sismico italiano. A questo scopo, è stato utilizzato lo stesso modello sorgente (Meletti *et al.*, 2008) dell'attuale mappa di pericolosità sismica ufficialmente adottata dalla normativa (Stucchi *et al.*, 2011). Le mappe di APPS-S ottenute sono state confrontate con quelle corrispondenti basate sullo stesso modello sorgente, ma ottenute con la APPS classica. Ciò ha consentito di valutare quantitativamente gli effetti delle repliche sulla progettazione strutturale, una questione rilevante dalla prospettiva dell'ingegneria

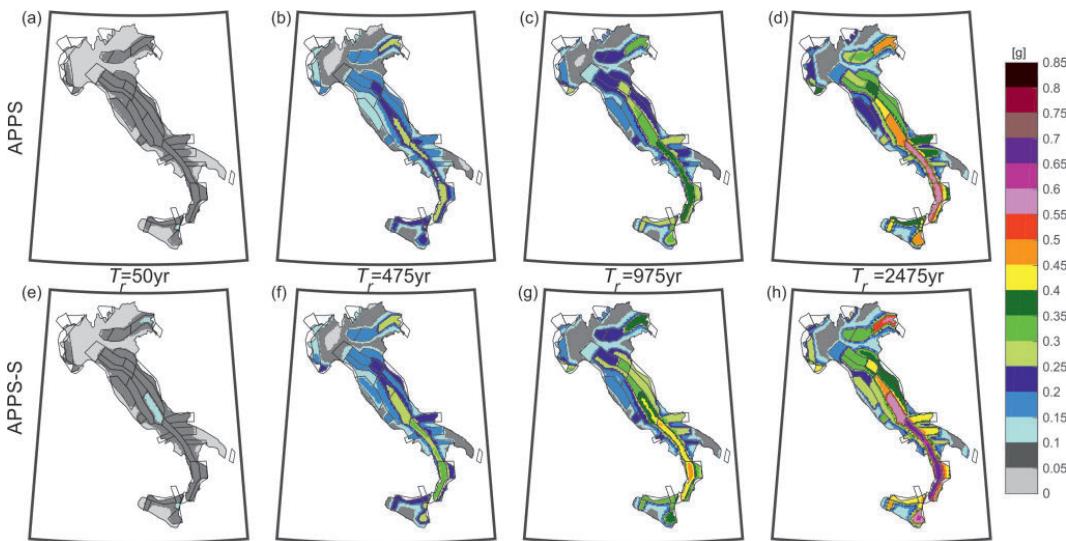


Fig. 1 - Mappe di PGA su roccia per quattro periodi di ritorno del superamento pari a: 50, 475, 975 e 2475 anni. I pannelli da (a) a (d) sono calcolati tramite la APPS, (e) a (h) sono calcolati tramite la APPS-S.

sismica. Come esempio di risultati, nella Fig. 1 si riportano le mappe ottenute attraverso la APPS e la APPS-A per la PGA e relativamente a quattro periodi di ritorno del superamento su roccia: 50, 475, 975 e 2475 anni.

I risultati portano a concludere che, pur tenendo conto delle l'ipotesi di lavoro alla base dello studio, e che potrebbero certamente essere riviste sulla base di ulteriori approfondimenti, l'introduzione delle sequenze di scosse di replica, secondo la legge di Omori modificata, può avere un effetto non trascurabile sulle azioni sismiche di progetto in Italia soprattutto nei siti con la pericolosità più alta secondo la pericolosità classica.

Bibliografia

- Beauval C., Hainzl S. e Scherbaum F.; 2006: *Probabilistic seismic hazard estimation in low-seismicity regions considering non-Poissonian seismic occurrence*. Geophys. J. Int., **164**, 543-550.
- Boyd O.S.: 2012: *Including foreshocks and aftershocks in time-independent probabilistic seismic-hazard analyses*. Bull. Seismol. Soc. Am. **102**, 909-917.
- Cornell C.A.; 1968: *Engineering Seismic Risk Analysis*. B. Seismol. Soc. Am., **58**, 1583-1606.
- Gardner J.K. e Knopoff L.; 1974: *Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian?* Bull. Seismol. Soc. Am., **60**(5), 1363-1367.
- Iervolino I., Chioccarelli E., Giorgio M.; 2018: *Aftershocks' Effect on Structural Design Actions in Italy*. Bull. Seismol. Soc. Am., **108**, 2209-2220.
- Iervolino I., Giorgio M., Polidoro B.; 2014: *Sequence-based probabilistic seismic hazard analysis*. Bull. Seismol. Soc. Am., **104**, 1006-1012.
- Marzocchi W. e Taroni M; 2014: *Some thoughts on declustering in probabilistic seismic-hazard analysis*. Bull. Seismol. Soc. Am., **104**, 1838-1845.
- McGuire R.K.; 2004: *Seismic Hazard and Risk Analysis*. EERI - Earthquake Engineering Research Institute, MNO-10, Oakland, CA, USA.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G. e Boschi E.; 2008: *A seismic source zone model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. Tectonophysics, **450**, 85-108.
- Polidoro B., Iervolino I., Giorgio M. e Chioccarelli E.; 2013: *Models and issues in history-dependent mainshock hazard*. Atti di 11th Conference on Structural Safety and Reliability, ICOSSAR '13, NYC, USA.
- Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M. e E. Boschi; 2011: *Seismic hazard assessment (2003-2009) for the Italian building code*. Bull. Seismol. Soc. Am., **101**, 1885-1911.
- Utsu T.; 1961: *A statistical study on the occurrence of aftershocks*. Geophys. Mag., **30**, 521-605.
- Yeo G.L. e Cornell C.A.; 2009: *A probabilistic framework for quantification of aftershock ground-motion hazard in California: Methodology and parametric study*. Earthq. Eng. Struct. D., **38**, 455-60.

THE SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT OF THE MEF BUILDING IN ROME DOWNTOWN: THE CONTRIBUTION OF THE 1D SITE RESPONSE ANALYSIS

L. Macerola, M. Tallini, G. Bosco

Department of Civil, Construction-Architectural and Environmental Engineering, L'Aquila University, Italy

The results of the 1D local seismic response analysis of the area of the Italian Ministry of Economy and Finance building (in the following MEF site) are presented. The seismic site analysis has been planned to support the seismic vulnerability assessment of the above-mentioned building placed in the Rome downtown (Castro Pretorio district nearby Porta Pia and Termini railway station).

The subsoil model and the seismostratigraphy at the MEF building site have been achieved via an extensive investigation program that included the drilling of a 60 m-deep borehole with continuous sampling (named S1), the retrieval of 21 undisturbed and disturbed soil samples on which were carried out several static and dynamic lab tests as well as the determination of the

physical properties of the different soil layers. Once coring was completed the borehole was equipped with the PVC pipe for later down-hole tests.

The geophysical investigation comprised the execution of two down-hole tests in the borehole S1, using two different techniques (single receiver and couple of receivers 1 m apart), the execution of another down-hole test (couple of receivers 1 m apart) inside a different borehole, always located in the MEF site, the execution of MASW and seismic refraction investigation and the recording of three long-duration microtremor measurements throughout a 24 hours time interval.

Based on the results of the intensive investigation and by interpreting the litho-stratigraphy of the borehole S1 considering the geological background and mapping of the Roman area (APAT, 2008; AA.VV., 2008), a multitask approach was carried out to define a representative subsoil model of the MEF site, to assign the numerical values to the parameters involved in the modelling, to select the input motions, and, finally, to perform the 1D numerical modelling with the code STRATA (Kottke and Rathje, 2008) (Tab. 1; Figs. 1, 2, and 3).

Based on the geotechnical and down-hole data, a seismostratigraphy of the MEF site comprising several horizons showing different Vs values was reconstructed to a depth of 60 m bgl (Tab. 1). The seismic bedrock was established at 550 m bgl considering the stratigraphy of the nearby Circo Massimo deep borehole (AA.VV., 2008; Pagliaroli *et al.*, 2011) which evidences at that depth, within the between the Pliocene

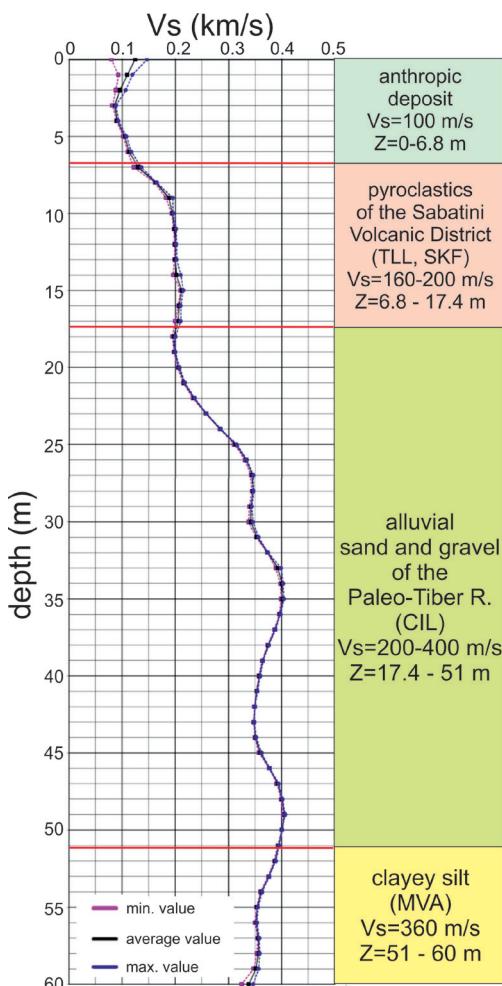


Fig. 1 - Vs values from the down-hole tests performed in the borehole S1. The acronyms TLL, SKF, CIL and MVA refer to the geological formation of the CARG sheet 374 Rome at 1:50,000 scale. Vs: shear wave velocity; Z: depth (m bgl).

marine continental shelf deposit, the boundary between the clayey unit (i.e. MVA Formation of CARG sheet 374 Rome) and the underlying sandy unit of (AA.VV., 2008) (Tab. 1). The adopted depth of the seismic bedrock (H), equal to 550 m bgl, agreed with the estimation of H for the Mef site by applying the formula: $f_0 = Vs / 4H$, imposing the resonance frequency (f_0) equal to 0.30-0.35 Hz and an average Vs obtained from the available measures (Pagliaroli *et al.*, 2011). For the soil behaviour the well-known equivalent linear model was adopted. Thus, the shear modulus G and the damping factor D depend on the shear strain γ induced by the earthquake motion and are iteratively adjusted until they match a fraction of the maximum strain caused in each layer by the passing shear waves. The adopted G/G_0 vs γ and D vs γ curves of the soil units were obtained from resonant column tests specifically performed (Fig. 2). Only for the sandy gravel layers we adopted curves from literature (Rollins *et al.*, 1998) (Tab. 1).

Tab. 1 - The subsoil model and seismostratigraphy of the MEF site. CI refers to the curve G/G_0 vs γ and D vs γ obtained from the borehole S1 soil samples and reported in Fig. 2.

Geological unit	Lithology	Depth (m)	Vs (m/s)	Density (kN/m³)	Dynamic Behaviour (see Fig.2)
Anthropic deposit (Holocene) ("h" of CARG sheet 374 Rome)	Sand and clayey silt with brick fragments	0-6.8	100	17	CI 2
Pyroclastics (cinerite and tuff) of Sabatini Volcanic District (Middle Pleistocene) ("LTT", "SKF" of CARG sheet 374 Rome)	Silty-sandy pyroclastics	6.8-9.2	160	16	CI 2
	cinerite	9.2-11.4	190	16	CI 2
	Sandy-silty pyroclastics	11.4-17.4	200	16	CI 2
Alluvial deposit of Paleo Tiber River (Middle Pleistocene) (CIL of CARG sheet 374 Rome)	Silty clay	17.4-20.3	200	18	CI 3
	Silt and sand with travertine concretions	20.3-23	240	19	CI 4
	Silt and sand with travertine concretions	23-26.4	310	19	CI 4
	Sandy-clayey silt with travertine concretions	26.4-30	340	19.5	CI 4
	Sandy-clayey silt with travertine concretions	30-31.7	360	19.5	CI 4
	Clayey silt	31.7-39.7	390	19.5	CI 7
	Silty sand	39.7-43.7	350	19.5	CI 7
	Sandy gravel	43.7-46	360	22	Rollins <i>et al.</i> (1998) mean
	Sandy gravel	46-51	400	22	Rollins <i>et al.</i> (1998) mean
Pliocene pelite and sand of the Tyrrhenian Sea continental shelf	Clayey silt (MVA of CARG sheet 374 Rome encountered in the Circo Massimo borehole)	51-60 (from borehole S1) / 550 m (from Circo Massimo borehole, 0 and 1D numerical modelling)	360	20	CR 15
	Sand (seismic bedrock) (encountered in the Circo Massimo borehole)	-	800	23.5	damping = 1%

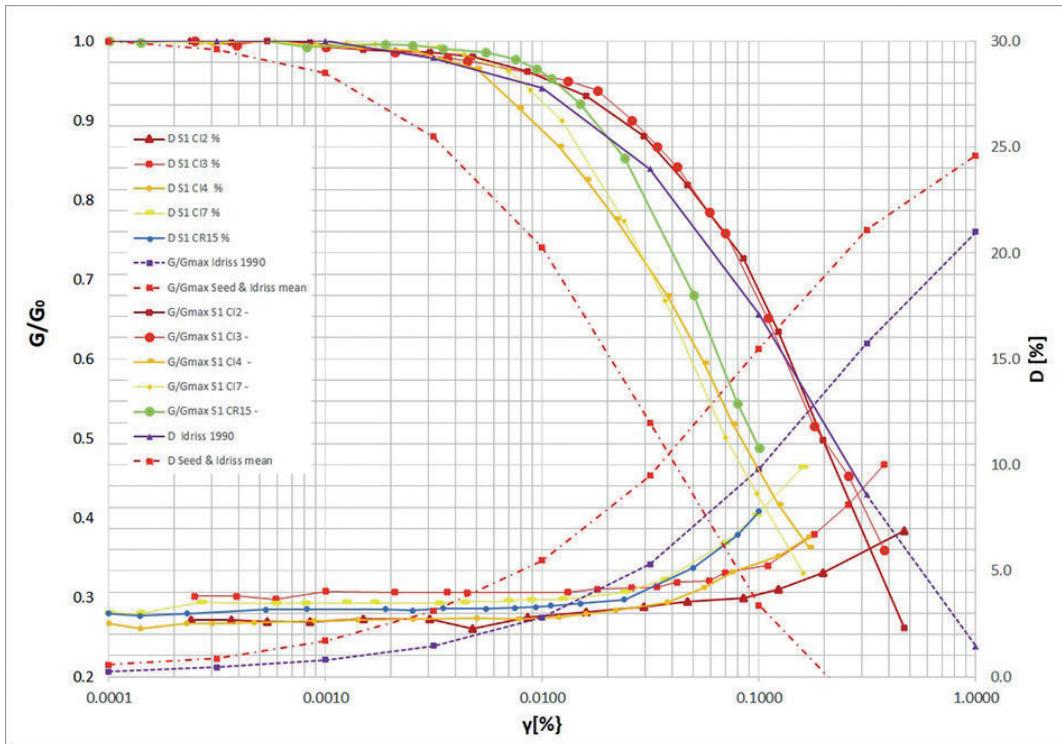


Fig. 2 - The G/G_0 vs γ and D vs γ curves adopted for the modelling (see Tab. 1), which were obtained from the borehole S1 soil samples.

The 1D site response analyses have been performed using three free field natural accelerograms at the bedrock, specific of the seismicity of central Italy, which were recorded by the Italian Accelerometric Network (RAN): (i) 6 April 2009 (Mw: 6.1) L'Aquila earthquake recorded at the AQG station; (ii) 30 October 2016 (Mw: 6.5) Norcia earthquake recorded at the AVE station; (iii) 19 September 1979 (Mw: 5.9) Valnerina earthquake recorded at ARQ station. The selected time histories were scaled with respect to two PGA values at the MEF site provided by the NTC, 2008: ultimate limit state (SLV) with an occurrence probability of 10% in 200 years.

For the MEF site, the code STRATA was used to perform the analyses of local seismic response given the above-mentioned three seismic input motions and seven accelerograms obtained from the Rexel catalogue (Iervolino *et al.*, 2010) and the subsoil model of Tab. 1. As preliminary results of the site response analysis, the output spectra are compared with the NTC (2008) spectra specific of the MEF site (Fig. 3). We present several output spectra and NTC (2008) spectra considering different configurations as reported in Tabs. 2 and 3. At last, as a first observation, in Fig. 3 we can note that the output spectra are quite similar in shape to, but weakly lower than those of NTC (2008). The results are promising and so, in the next, our effort will be devoted to perform the 2D modelling considering that the subsoil model of the MEF site is very complex because is characterized by vertical and horizontal changing of lithologies and by the presence of cave in the pyroclastic strata, anthropic deposit and rooms in the MEF building basement.

Tab. 2 - The configuration adopted for the modelling whose output spectra are reported in Fig. 3.

Reference acronym of output spectrum in Fig. 3	Base level for the modelling	Seismic input source
free-field Rexel db	free-field (street level)	Rexel catalogue
foundation Rexel db	foundation level (-12 m from street level)	Rexel catalogue
free-field RAN db	free-field (street level)	RAN catalogue
foundation RAN db	foundation level (-12 m from street level)	RAN catalogue

Tab. 3 - The configuration adopted for the NTC (2008) spectra reported in Fig. 3. Vn50 and c2 refer to the nominal design life (here assumed as 50 years) and the building usage class (here assumed as c2), respectively.

Reference acronym of NTC (2008) spectrum in Fig. 3	Ultimate Limit States	Soil category
slv D Vn50 c2	Life Safety Limit State (slv)	Soil type D
slc D Vn50 c2	Collapse Limit State (slc)	Soil type D
slv C Vn50 c2	Life Safety Limit State State (slv)	Soil type C
slc C Vn50 c2	Collapse Limit State (slc)	Soil type C

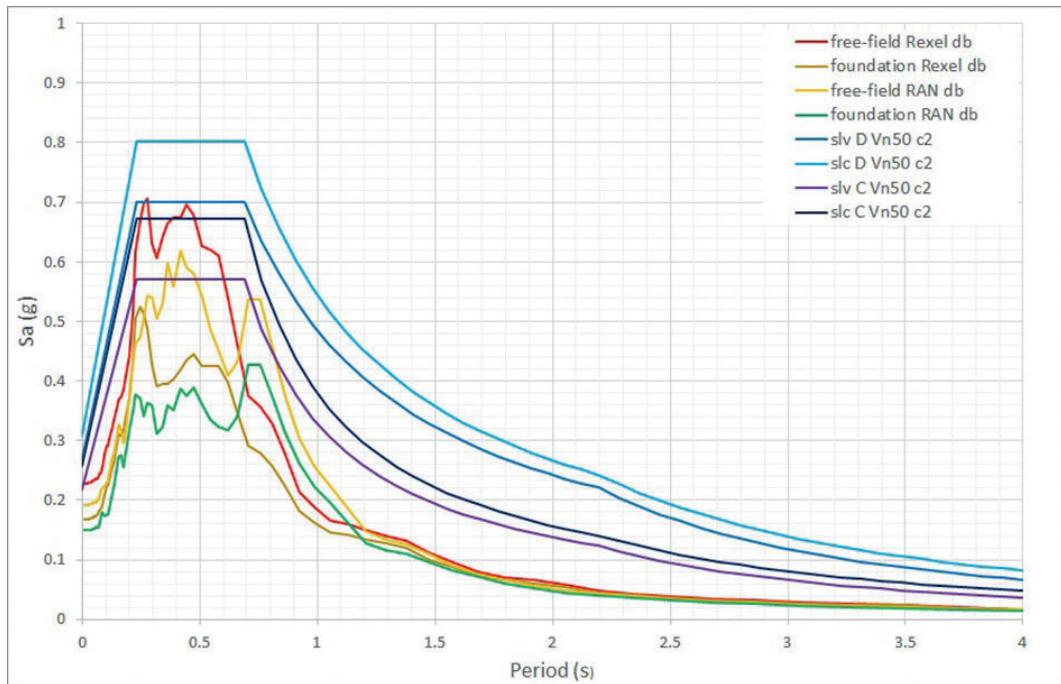


Fig. 3 - Comparison between the output spectra obtained from the modelling (free-field Rexel db; foundation Rexel db; free-field RAN db; foundation RAN db) and those from NTC (2008) (slv D Vn50 c2; slc D Vn50 c2; slv C Vn50 c2; slc C Vn50 c2).

References

AA.VV. (2008) – Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000, foglio 374 Roma. APAT, Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d’Italia, stampa: S.EL.CA., Firenze, 156 pp, in visione presso http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note_illustrative/374_Roma.pdf

- APAT, Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia (2008) – Geological Map of Italy at 1:50,000 scale, sheet 374 Roma, S.EL.CA., Firenze, consulted at http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/374_ROMA/Foglio.html
- Iervolino I., Galasso C. and Cosenza E.; 2010: *REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis*. Bulletin of Earthquake Engineering **8**, 339-362.
- Kottke A.R. and Rathje E.M.; 2008: *Technical Manual for Strata*, PEER Report 2008/10, Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering, University of California, Berkeley, pp. 100, downloadable at https://peer.berkeley.edu/sites/default/files/web_peer810_albert_r_kottke_ellen_m_rathje.pdf
- NTC; 2008: *Norme Tecniche per le Costruzioni* - D.M. 14/01/2008, Gazzetta Ufficiale n. 29-4 febbraio 2008. Suppl. Ordinario n. 30. Capitolo 3 Azioni sulle costruzioni.
- Rollins K.M., Evans M.D., Diehl N.B. and Daily III W.D.; 1998: *Shear modulus and damping relationships for gravels*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering **124**, 396-405.
- Pagliaroli A., Di Fiore V., Lanzo G., Piro S., Piscitelli S., Naso G., Castenetto S., Sabetta F., Petrangeli P., Cecchi R. (2011) – Microzonazione Sismica dell'Area Archeologica Centrale di Roma. XIV Convegno ANIDIS “L'Ingegneria Sismica in Italia”, Bari, 18 - 22 settembre 2011, downloadable at https://www.researchgate.net/profile/Mancini_Marco/publication/236258983_Microzonazione_Sismica_dell'Area_Archeologica_Centrale_di_Roma/links/0deec51767ec8ecb5a000000.pdf