

## Dalle fonti storiche ai modelli numerici della risposta sismica: effetti dei terremoti storici nell'Area Archeologica Centrale di Roma

*From historical sources to site response numerical modelling: effects of past earthquakes in the Central Archaeological Area of Rome*

RAZZANO Roberto(\*), GALLI Paolo(\*\*), MOSCATELLI Massimiliano(\*),  
PAGLIAROLI Alessandro(\*\*\*), MANCINI Marco(\*), LANZO Giuseppe(\*\*\*\*),  
STIGLIANO Francesco(\*)

**RIASSUNTO** - Lo scopo di questo lavoro è lo studio degli effetti dei terremoti nell'Area Archeologica Centrale di Roma comprendente Colle Palatino, Colosseo, Fori Romani e Circo Massimo, con particolare riferimento agli eventi sismici di origine appenninica. Gli scenari di danno verificatisi in epoca storica sono confrontati con i risultati di una modellazione numerica tridimensionale della risposta sismica dell'area, con lo scopo di evidenziare il ruolo dell'amplificazione del moto sismico dovuta alle condizioni geologiche e geotecniche locali.

**PAROLE CHIAVE:** risposta del sito, modellazione numerica, microzonazione sismica, amplificazione del moto del suolo, beni culturali

**ABSTRACT** - The aim of the paper is to study the earthquake-induced effects of past earthquakes in the Central Archaeological Area of Rome including Palatine hill, Coliseum, Roman Forum and Circus Maximus. Reference is made essentially to earthquakes induced by Apennine fault systems located over 80 km away. Damages scenarios deduced from historical sources are compared with the results of a tridimensional numerical modelling of the seismic response of the area. This study highlights the role of local geological and geotechnical conditions producing amplification of seismic ground motion.

**KEY WORDS:** site response, numerical modelling, seismic microzonation, ground motion amplification, cultural heritage

### 1. - INTRODUZIONE

Le fonti storiche riportano che Roma ha subito danni non trascurabili durante terremoti storici anche se situata abbastanza lontana da sorgenti sismogeniche capaci di generare eventi sismici di elevata magnitudo. Le faglie appenniniche si trovano infatti a distanze minime di parecchie decine di chilometri dalla città eterna. Un esame sistematico delle fonti storiche che descrivono gli effetti dei terremoti risentiti a Roma è stato effettuato da MOLIN *et alii* (1995) e aggiornato più recentemente da Galli e MOLIN (2014) con particolare riferimento ai terremoti che hanno ecceduto la soglia del danno.

La distribuzione dei danni in occasione dei terremoti storici evidenzia che un ruolo fondamentale è giocato dagli effetti di amplificazione dovuti alle condizioni geologiche e geotecniche locali. Durante i terremoti storici i danni si sono infatti concentrati in corrispondenza dei depositi di terreno più soffici costituiti dai sedimenti alluvionali Olocenici del fiume Tevere (DONATI *et alii*, 1999; BOZZANO *et alii*, 2011). Queste osservazioni sono state confermate da nu-

(\*) Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria CNR-IGAG, Strada Provinciale 35d, 9 - 00010, Montelibretti (RM)

(\*\*) Dipartimento della Protezione Civile, Via Vitorchiano 4 00189 - Roma, Italia

(\*\*\*) Università di Chieti Pescara, Dipartimento di Ingegneria e Geologia, viale Pindaro 42, 65129 Pescara - Italy

(\*\*\*\*) Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Via Antonio Gramsci, 53 - 00197, Roma

merosi studi numerici della risposta sismica locale dell'area romana che hanno evidenziato le modifiche del moto sismico associate alle caratteristiche geotecniche di tali terreni nonché alle caratteristiche morfologiche sepolte dei depositi alluvionali recenti (PAGLIAROLI *et alii*, 2014a).

Nell'ambito di un più ampio progetto volto alla valutazione dei rischi geologici che interessano l'Area Archeologica Centrale di Roma è stato effettuato uno studio di microzonazione sismica dell'area (MOSCATELLI *et alii*, 2014a). Tale studio, basato su una eccezionalmente elevata mole di dati di sottosuolo, ha previsto modellazioni numeriche bidimensionali della risposta locale (PAGLIAROLI *et alii*, 2014b). Il presente studio rappresenta un proseguimento di quell'attività di ricerca presentando i risultati di una modellazione tridimensionale dell'area archeologica. Tale analisi è stata svolta assumendo come input segnali sismici rappresentativi dei terremoti appenninici. I risultati delle analisi, presentati in termini di mappe dei fattori di amplificazione del moto sismico, sono confrontati con le informazioni disponibili sui danni verificatesi in occasione dei terremoti storici di provenienza appenninica.

## 2. - INTRODUZIONE AI METODI NUMERICI

La valutazione della risposta sismica locale di un dato sito può essere effettuata tramite differenti tecniche raggruppabili in due principali categorie: metodi sperimentali e numerici. I metodi sperimentali permettono di effettuare la valutazione della risposta sismica locale a partire dall'analisi delle registrazioni di segnali sismici che possono essere generati da terremoti, da sorgenti sismiche artificiali (esplosioni) o da misure di rumore ambientale. Data la difficoltà di acquisire dati *strong motion* (prodotti da terremoti di elevata magnitudo), l'impiego dei metodi sperimentali è limitato prevalentemente ad eventi di bassa energia che valutano, quindi, la risposta dei terreni soltanto a bassissimi livelli deformativi (cioè unicamente in campo lineare).

I metodi numerici simulano, mediante codici di calcolo, la propagazione 1D, 2D o 3D delle onde si-

smiche dal basamento all'interno delle coperture superficiali, e consentono di modellare in modo dettagliato situazioni anche complesse dal punto di vista geometrico, stratigrafico e dinamico associato alle proprietà di non linearità dei terreni. I metodi numerici possono essere impiegati per valutazioni quantitative dettagliate, per riprodurre un evento storico di scenario e in fase predittiva, ma richiedono in ingresso una conoscenza approfondita della geometria del sito e delle proprietà geotecniche dei terreni, in particolare delle leggi sforzi-deformazioni in campo ciclico (modelli costitutivi).

Le principali fasi attraverso le quali si articola uno studio di modellazione numerica sono:

- 1 definizione del moto di input;
- 2 definizione del modello di sottosuolo;
- 3 calcolo del moto di output;
- 4 elaborazione dei risultati.

I primi due punti rappresentano i parametri di ingresso da inserire nel software di calcolo, essi dipendono dalla sismicità dell'area, dalle caratteristiche geometriche e morfologiche del sito in esame, dai parametri meccanici dei terreni coinvolti. L'analisi numerica fornisce poi il moto di output, generalmente in termini di storie temporali dell'accelerazioni in punti di interesse. L'elaborazione dei risultati consiste generalmente nel calcolo di vari parametri sintetici del moto sismico (es. spettro di risposta dell'accelerazione, intensità di Housner). Se l'obiettivo è quello di quantificare l'entità dei fenomeni di amplificazione, come accade negli studi di microzonazione sismica, è necessario il calcolo di un fattore di amplificazione.

## 3. - SISMICITÀ STORICA DELL'AREA DI ROMA E DEFINIZIONE DEL MOTO SISMICO

L'area di Roma è caratterizzata da un basso livello di sismicità locale. Quasi tutti i terremoti con i risentimenti più elevati sono stati originati dalle grandi faglie appenniniche; in particolare (Fig. 1), quelle del Fucino (FFS), nel 508, 1231, e 1915 (Mw 7), di Norcia (NFS) nel 99 a.C. e 1703 (Mw 7), del Monte Vet-

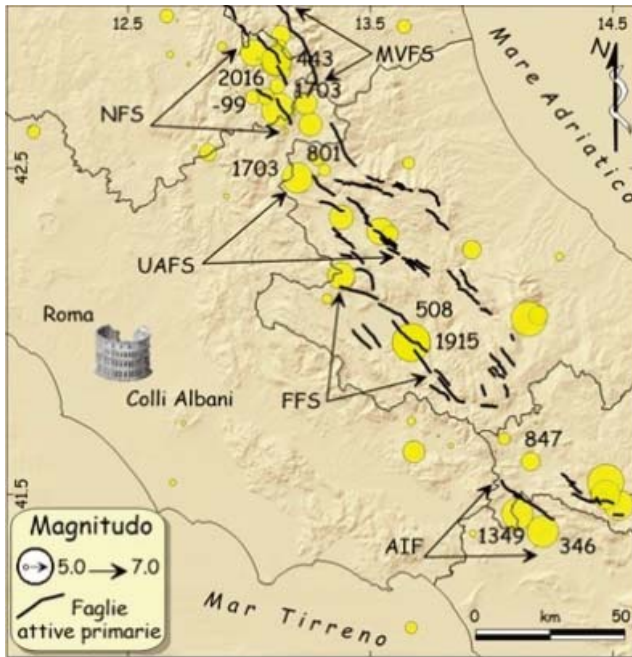


Fig. 1 - Mappa dei terremoti storici originati dalle faglie appenniniche con i risentimenti più elevati a Roma (GALLI & MOLIN, 2014).  
- *Epicentral distribution of earthquakes caused by Apennine faults that induced strong effects in Rome.*

tore (MVFS), nel 443 e nel 2016 (Mw 6.7), dell'Alta valle dell'Aterno (UAFS), nel 801 e 1703 (Mw 6.7), delle Aquae Iuliae (AIF), nel 346-355, 847 e 1349 (Mw 6.7).

In oltre duemila anni di storia ben documentata, i terremoti che hanno superato la soglia del danneggiamento sono soltanto 8 e solo in tre occasioni negli ultimi 1000 anni i danni sono stati gravi, seppur limitati in genere ai soli edifici monumentali. In particolare, nell'Area Archeologica Centrale e nelle zone limitrofe, si ha contezza di danni gravi al Colosseo, agli edifici di P.zzo Valentini e a quelli in prossimità di San Clemente nel terremoto del 443. Di nuovo al Colosseo, ai templi della Pace e di Marte Ultore nel 508. Agli edifici del Foro di Traiano, alle Basiliche Ulpia, Emilia e di Massenzio nell'847. Nel 1231 caddero uno o più blocchi del Colosseo. Nuovamente al Colosseo, alle torri dei Conti e delle Milizie e alle Basiliche Ulpia e di Massenzio, crollata forse in modo definitivo, nel 1349, quando almeno due eventi di elevata energia furono rilasciati da altrettante faglie appenniniche, una quelle delle Aquae Iuliae e l'altra nell'Aquilano. Nel 1703, infine,

crollarono due archi del Colosseo (dettagli in GALLI & MOLIN, 2014; GALLI *et alii*, 2016).

In questo studio si farà riferimento ai terremoti di origine appenninica. Dalla conoscenza dei parametri che caratterizzano queste faglie (magnitudo potenziale, meccanismo di faglia, distanza dal sito etc.) è stato possibile selezionare, attraverso procedure tipiche della sismologia applicata, un accelerogramma artificiale (SABETTA, 2014) da utilizzare come input nel modello numerico.

#### 4. - DEFINIZIONE DEL MODELLO DI SOTTOSUOLO

Per la definizione del modello di sottosuolo si è reso necessario un approccio multidisciplinare che ha coinvolto competenze geologiche, geofisiche e geotecniche e l'analisi di un notevole numero di indagini in sito ed in laboratorio. In Figura 2 è riportata la carta delle indagini, dalla quale si evince il notevole sforzo dedicato ad un sito così importante dal punto di visto storico-culturale. La mappa integra le indagini eseguite nell'ambito del citato studio di microzonazione sismica dell'Area Archeologica Centrale e quelle pregresse a tale studio (principalmente studi archeologici e per la progettazione dell'adiacente linea metropolitana).

Le tipologie di indagini eseguite in sito sono: sondaggi (più di 200 in un'area di estensione inferiore a 1 km<sup>2</sup>), misure geofisiche in foro di tipo Cross-Hole e Down-Hole, misure di sismica passiva a stazione singola, tomografie sismiche, indagini MASW, indagini georadar, misure di resistività elettrica ERT (MOSCATELLI *et alii*, 2014b). Le prove di laboratorio disponibili consistono in prove di colonna risonante, taglio torsionale ciclico e di taglio semplice (PAGLIAROLI *et alii*, 2014c). Questa enorme mole di indagini ha permesso una ricostruzione molto dettagliata delle condizioni del sottosuolo attraverso la costruzione di sette sezioni geologico-tecniche che, interpolate tramite CAD, hanno permesso di definire il modello tridimensionale dell'area in studio e poi la griglia per il software di calcolo FLAC3D composta da circa 400'000 nodi e 2'000'000 di elementi tetrae-



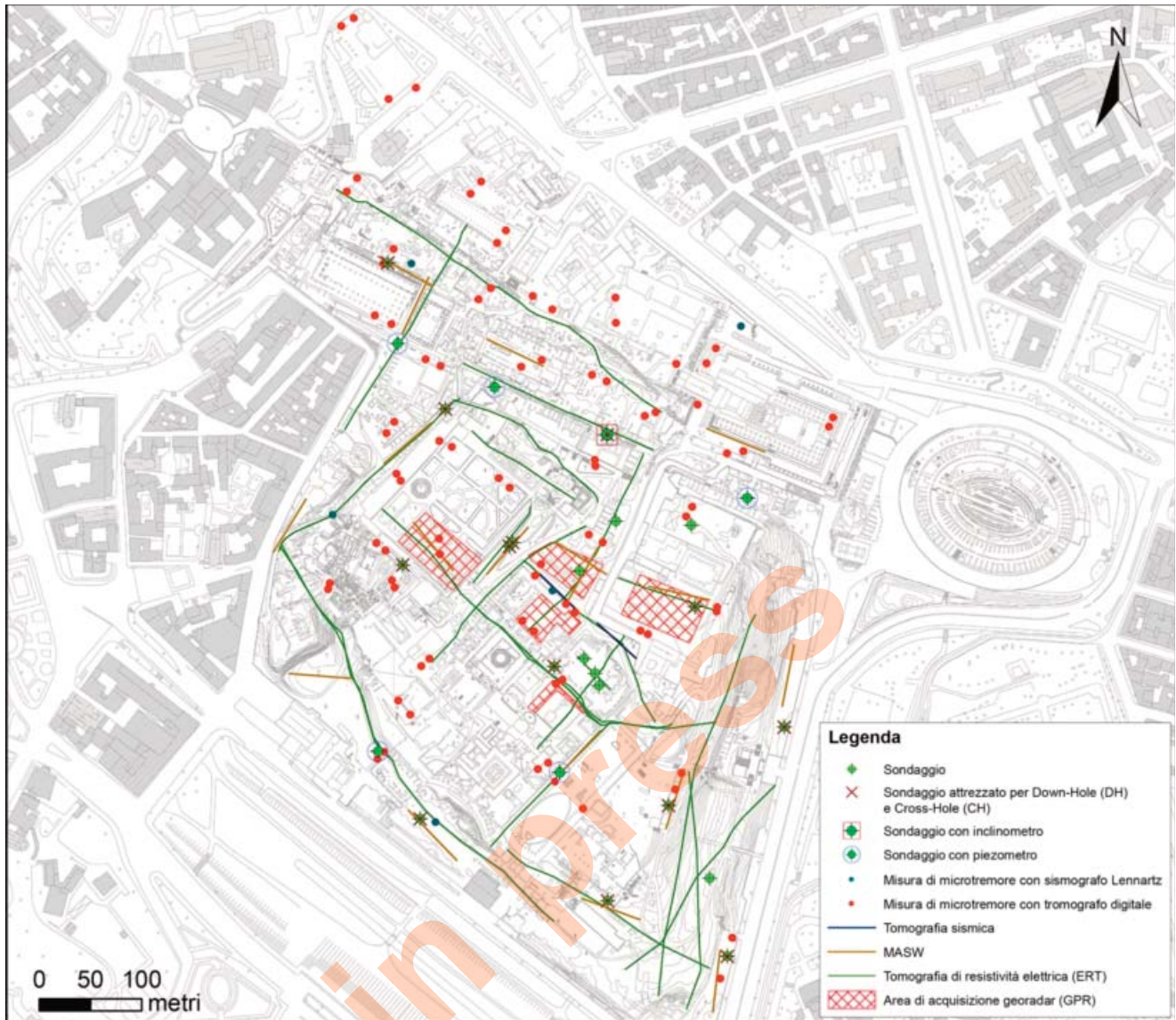


Fig. 2 - Carta delle indagini eseguite nell'Area Archeologica Centrale di Roma (modificato da MOSCATELLI *et alii*, 2014b).  
 - Investigations carried out in the Central Archaeological Area of Rome (modified from MOSCATELLI *et alii*, 2014b).

drici (Fig. 3).

L'assetto geologico-stratigrafico dell'area in esame è descritto dettagliatamente in MANCINI *et alii* (2014), nel quale è stata proposta una ricostruzione dell'architettura stratigrafica generale e delle geometrie dei corpi sepolti. In estrema sintesi, al di sopra di un basamento geologico costituito da una potente successione di sedimenti argilloso-sabbiosi marini, di età pliocenica, fortemente sovraconsolidati (Formazione di Monte Vaticano, MVA), si riconosce un complesso di formazioni continentali, di ambiente fluviale e vulcanico distale, potente fino a 50-60 m e di età Pleistocene medio, che costituisce nel suo in-

sieme la struttura del colle Palatino (unità CIL-VGU-PTI-PPT-FTR-VSN-AEL in Tabella 1). I depositi alluvionali recenti del Sintema del Fiume Tevere (SFTba) del tardo Pleistocene-Olocene, sono confinati esclusivamente nelle valli bordanti il colle (Valle del Velabro, Valle Murcia, Valle Labicana). Infine, una copertura costituita da terreni di riporto antropico e da elementi murari sepolti (deposito antropico, RPI\_AEL) copre quasi con continuità tutta l'area raggiungendo sensibili spessori (fino a 20 m; MOSCATELLI *et alii*, 2014b).

Nella creazione del modello, è stato operato un accorpamento di litotipi, rispetto a quelli proposti da

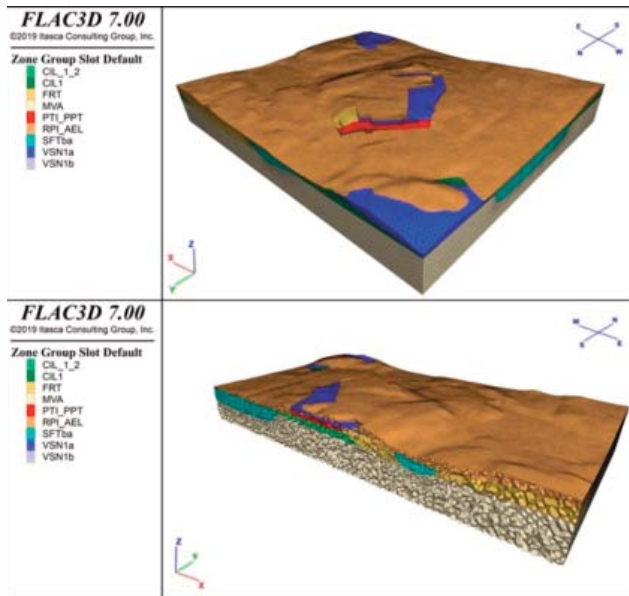


Fig. 3 - Griglia di calcolo adottata per le analisi 3D.  
- Sketch of the 3D mesh employed for the numerical modelling.

MANCINI *et alii*, (2014), caratterizzati da valori simili della rigidezza ( $V_S$ ). Le principali proprietà fisiche e meccaniche, rilevanti per la modellazione numerica della risposta locale, dedotte per ciascun litotipo dalle indagini disponibili, sono riportate in Tabella 1. Il comportamento non lineare e dissipativo del terreno è stato modellato attraverso il modello *hysteretic damping* implementato nel codice di calcolo FLAC3D. I

parametri del modello costitutivo sono stati tarati per ciascun litotipo sulla base delle curve proposte da PAGLIAROLI *et alii*, (2014b).

## 5. - RISULTATI NUMERICI E FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

La valutazione degli effetti di amplificazione del moto sismico è possibile attraverso il calcolo del fattore di amplificazione definito, in generale, come rapporto tra un parametro sintetico del moto sismico in output (calcolato alla superficie del deposito) e il corrispondente valore di input (al basamento). La letteratura tecnica fornisce una serie di definizioni del fattore di amplificazione (Pagliaroli, 2018), alcune delle quali sono riportate in Tabella 2, dove  $IH_0$  e  $IH_1$  sono rispettivamente le intensità di Housner calcolate tra i periodi  $T_1$  e  $T_2$  sullo spettro di risposta di output ed input, SA ed SV rispettivamente gli integrali tra intervalli di periodi opportunamente scelti degli spettri di accelerazione e velocità.

Per la valutazione del moto in superficie l'output è stato calcolato in corrispondenza di 495 nodi alla superficie del deposito. Si è fatto riferimento al fat-

Tab. 1 - Modello di sottosuolo ( $g$ : peso dell'unità di volume,  $V_S$ : velocità delle onde di taglio,  $u$ : coefficiente di Poisson); \*  $V_S$  variabile con la profondità  $z$  dal piano campagna.

- Subsoil model ( $g$ : unit weight,  $V_S$ : shear wave velocity,  $u$ : Poisson ratio); \*  $V_S$  gradient with depth  $z$  from ground level.

Litotipo	Codice	$g$	$V_S$	$n$
		(kN/m <sup>3</sup> )	(m/s)	(-)
Blocchi tufacei e conglomerati	RPI_AEL	18.0	$185 z^{0.31}$ *	0.42
Deposito fluviale argilloso-limoso	SFTba	18.5	270	0.49
Tufo litoide	VSN1a	16.0	600	0.4
Tufo pozzolanico	VSN1b	19.7	340	0.48
Tufo	PTL_PPT	16.0	650	0.39
Limo, Sabbie limose	FRT	20.1	510	0.465
Sabbie limose	CIL1_2	20.1	480	0.435
Sabbie e ciottoli	CIL1	20.5	620	0.39
Argille marine OC	MVA	20.5	550	0.48

Tab. 2 - *Definizioni del fattore di amplificazione disponibili nella letteratura tecnica.*

- Main expressions of ground motion amplification factors employed in the literature.

Formulazione	Linee guida	Applicazioni rilevanti
		in studi di MS
$F_{PGA} = \frac{PGA_o}{PGA_i}$	Emilia Romagna 2015	Comuni Lombardia (1996)
		Catania (2000)
$FH = IH_o/IH_i$	Emilia Romagna 2015	Comuni Umbria (1999)
$T_1-T_2 =$ generalmente 0.1-0.5s e 0.5-1.0s		Casteln. Garfagnana (2002)
		San Giuliano di P. (2003)
		Senigallia (2007)
		MS Conca Aquilana (MA4)
		MS Area Arch. Centrale
		MS Conca Aquilana
$FA = SA_{m,o} /$	ICMS 2008	MS Conca Aquilana
$FV = SV_{m,o} /$		
$FHa = \frac{Sa_{m,o}}{Sa_{m,i}}$	Revisione ICMS 2011	Fivizzano (2014)
	Lazio 2011	MS Conca Aquilana (MA4)
	Toscana 2013	

tore definito in termini di intensità di Housner FH, rappresentato nel seguito sotto forma di mappe di amplificazione, ottenute tramite interpolazione dei valori ai nodi alla superficie del deposito. Tale scelta è scaturita dalla necessità dell'utilizzo di un fattore rappresentativo del potenziale di danno alle strutture associate ad un moto sismico. In particolare il fattore è stato calcolato in tre intervalli di periodi che racchiudono orientativamente le varie tipologie strutturali: 1)  $T_1 - T_2 = 0.1 - 0.5$  s (strutture basse in

muratura o calcestruzzo cls con meno di 3-4 piani); 2)  $T_1 - T_2 = 0.5 - 1.0$  s (strutture alte in muratura o cls); 3)  $T_1 - T_2 = 1.0 - 2.0$  s (edifici monumentali).

Osservando la mappa di amplificazione relativa primo intervallo di periodi ( $T = 0.1 - 0.5$  s, Fig. 4), si notano valori elevati di FH (1.8-2.0) in corrispondenza della Valle del Velabro (a) e della valle del Labicano presso il Colosseo (b), dovuti principalmente al riempimento soffice delle valli strette (SFT; vedi sezione 3, passante per le zone di massima amplificazione). Amplificazioni elevate si verificano anche in corrispondenza degli Horti Farnesiani (c) e di Vigna Barberini (d) (FH=1.6-1.8), dovute presumibilmente all'amplificazione associata al sensibile spessore dei riporti (RPI\_AEL). Questo intervallo di valori del periodo (0.1-0.5s) è di particolare interesse in quanto contiene i periodi di vibrazione delle principali tipologie strutturali presenti nell'area archeologica.

In Figura 5 è riportata la mappa di amplificazione

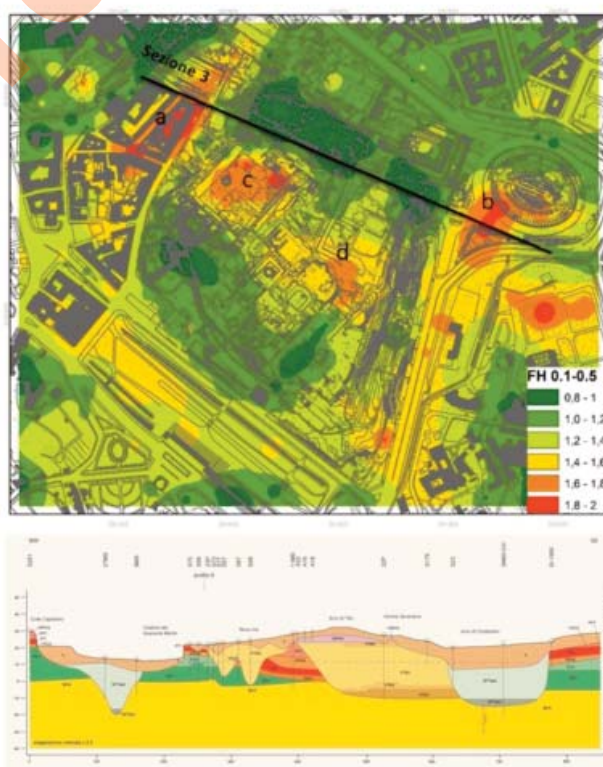


Fig. 4 - In alto: mappa di amplificazione dei fattori di amplificazione FH nell'intervallo  $T = 0.1-0.5$  s; in basso: sezione geologico-tecnica n° 3.  
- Ground motion amplification factor map in the period range  $T=0.1-0.5$ s (upper part); lithological section n. 3 (bottom part).



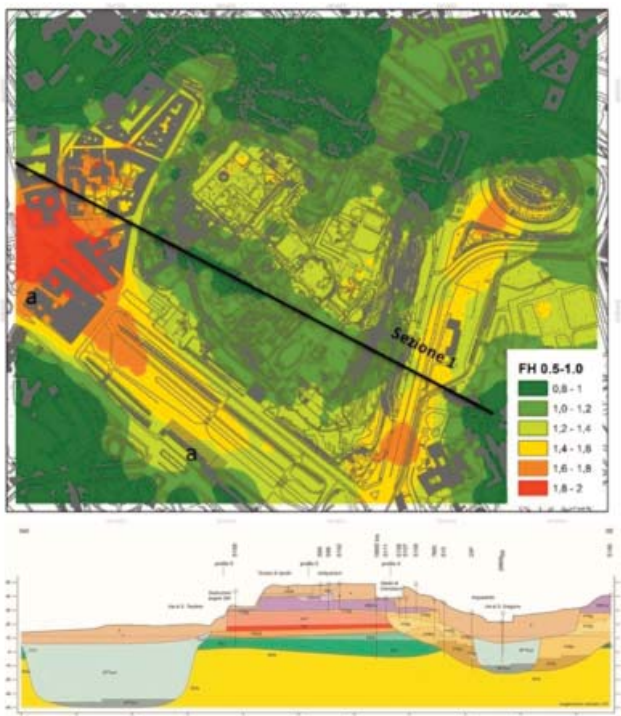


Fig. 5 - In alto: mappa di amplificazione dei fattori di amplificazione FH nell'intervallo  $T = 0.5-1.0$  s; in basso: sezione geologico-tecnica n° 1.  
- Ground motion amplification factor map in the period range  $T=0.5-1.0$ s (upper part);  
lithological section n. 1 (bottom part).

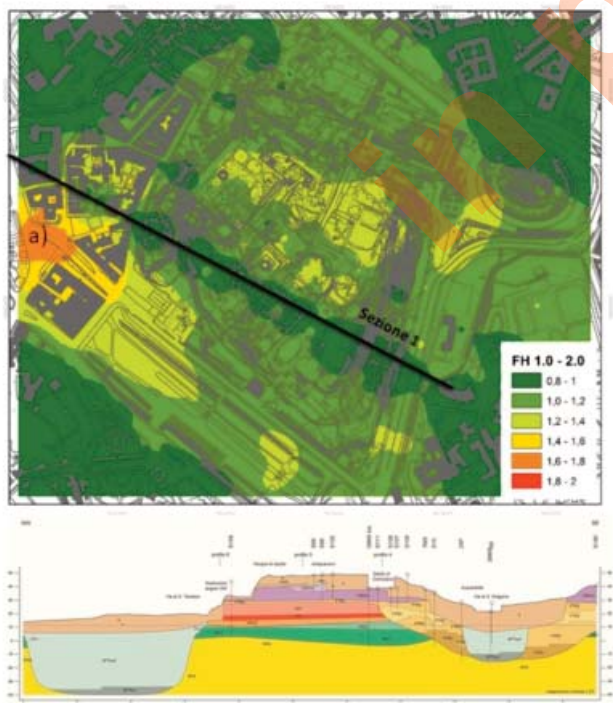


Fig. 6 - In alto: mappa di amplificazione dei fattori di amplificazione FH nell'intervallo  $T = 1.0-2.0$  s; in basso: sezione geologico-tecnica n° 1.  
- Ground motion amplification factor map in the period range  $T=1.0-2.0$ s (upper part);  
lithological section n. 1 (bottom part).

nel secondo intervallo di periodi ( $T = 0.5 - 1.0$  s), per il quale i valori elevati di FH (1.8-2.0) si verificano in corrispondenza delle valli più profonde e larghe, ossia in corrispondenza della confluenza tra la Valle Murcia (a) e la Valle del Tevere (fuori dalla figura, ad est). Valori minori di FH si osservano nella zona del Colosseo (1.6-1.8) e ancora più contenuti in corrispondenza del colle Palatino (1.0-1.2).

Nel terzo intervallo ( $T = 1.0 - 2.0$  s), riportato in Figura 6, si hanno valori più contenuti di FH in tutta la zona; le amplificazioni sono generalmente inferiori a 1.2 con eccezione della zona confluenza tra la Valle Murcia (a) e la Valle del Tevere (fuori dalla figura, ad est), dove le amplificazioni eccedono 1.4.

I pattern di distribuzione dei fattori di amplificazione calcolati con il modello tridimensionale sono in discreto accordo con quelli prodotti dall'estensione areale dei risultati della modellazione 2D (confronta PAGLIAROLI *et alii*, 2014b), mentre i valori massimi sono generalmente più alti per tutti e tre gli intervalli di periodo, a testimoniare un effettivo condizionamento degli effetti 3D sull'amplificazione del moto sismico.

## 6. - CONCLUSIONI

L'area di Roma è caratterizzata da una sismicità locale bassa, tuttavia le grandi faglie appenniniche, anche se poste ad elevate distanze, possono produrre forti risentimenti in strutture ad elevata vulnerabilità a causa dei fenomeni di amplificazione locale del moto sismico; questi ultimi sono dovuti alle complesse condizioni locali (stratigrafiche e morfologiche-topografiche). Questo studio presenta la risposta sismica locale dell'Area Archeologica Centrale di Roma basato su un modello tridimensionale costruito a partire da un notevole numero di indagini in sito ed in laboratorio. I risultati mostrano fattori di amplificazione FH del moto sismico fino a 2 rispetto al moto che si avrebbe su roccia, in campi di periodo compatibili con i periodi di vibrazione delle tipologie strutturali presenti. In questo contesto trovano giustificazione i danni osservati in occasione dei terremoti storici di origine appenninica con par-

ticolare riferimento al Colosseo (FH=1.8-2) danneggiato ripetutamente negli eventi del 443, 508, 1231, 1349 e 1703, alla basilica di Massenzio (FH=1.2), al tempio della Pace e Basilica Emilia (FH=1.2-1.4).

## BIBLIOGRAFIA

- BOZZANO F., GIACOMI A.C., MARTINO S., Comando Prov. Vigili del Fuoco Roma (2011) - *Damage scenario induced in the city of Rome by the L'Aquila seismic sequence of April 2009 (Italy)*. Italian J Eng Geol Environ **2**, 5-22.
- DONATI S., FUNICIELLO R. & ROVELLI A. (1999) - *Seismic response in archaeological areas: the case histories of Rome*. J Appl Geophys **41**, 229-239.
- Galli P. & Molin D. (2014) - *Beyond the damage threshold: the historic earthquakes of Rome*. Bull Earthq Eng, doi:10.1007/s10518-012-9409-0.
- GALLI P., GIACCIO B., MESSINA P. & PERONACE E. (2016) - *Three magnitude 7 earthquakes on a single fault in central Italy in 1400 years, evidenced by new palaeoseismic results*. Terra Nova, **28**(2), 146-154.
- MANCINI M., MARINI M., MOSCATELLI M., PAGLIAROLI A., STIGLIANO F., DI SALVO C., SIMIONATO M., CAVINATO G.P. & CORAZZA A. (2014) - *A physical stratigraphy model for seismic microzonation of the Central Archaeological Area of Rome (Italy)*. Bulletin of Earthquake Engineering, **12**, 1339-1363.
- MOLIN D., CASTENETTO S., DI LORETO E., GUIDOBONI E., LIPERI L., NARCISI B., PACIELLO A., RIGUZZI F., ROSSI A., TULLIANI A. & TRAINA G. (1995) - *Sismicità di Roma*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. **50**, 323-408.
- MOSCATELLI M., PAGLIAROLI A., CAVINATO G. P., CASTENETTO S. & NASO G. (2014a) - *Seismic microzonation of Palatine hill, Roman Forum and Coliseum Archeological Area*. Bulletin of Earthquake Engineering **12**, 1269-1275. ISSN: 1570-761X.
- MOSCATELLI M., PISCITELLI S., PIRO S., STIGLIANO F., CICOGLIA A. & CAVINATO G.P. (2014b) - *Integrated geological and geophysical investigations to characterize the anthropic layer of the Palatine hill and Roman Forum (Rome, Italy)*. Bull Earthq Eng, **12**, 1319-1338.
- PAGLIAROLI A., QUADRIO B., LANZO G. & SANÒ T. (2014a) - *Numerical modelling of site effects in the Palatine hill, Roman Forum and Coliseum archaeological area*. Bulletin of Earthquake Engineering, **12**, 1383-1403.
- PAGLIAROLI A., MOSCATELLI M., RASPA G. & NASO G. (2014b) - *Seismic microzonation of the Central Archaeological Area of Rome: results and uncertainties*. Bulletin of Earthquake Engineering, **12**, 1405-1428.
- PAGLIAROLI A., LANZO G., TOMMASI P. & DI FIORE V. (2014c) - *Dynamic characterization of soils and soft rocks of the Central Archaeological Area of Rome*. Bulletin of Earthquake Engineering, **12**, 1365-1381.
- PAGLIAROLI A. (2018) - *Key issues in Seismic Microzonation studies: lessons from recent experiences in Italy*. Rivista Italiana di Geotecnica - Italian Geotechnical Journal, n. 1/2018, pp. 5-48, DOI: 10.19199/2018.1.0557-1405.05.
- SABETTA F. (2014) - *Seismic hazard and design earthquakes for the Central Archaeological Area of Rome*. Bull Earthq Eng, **12**, 1307-1317, doi:10.1007/s10518-013-9427-6.