

SCENARIO DI DANNEGGIAMENTO INDOTTO NELLA CITTÀ DI ROMA DALLA SEQUENZA SISMICA AQUILANA DEL 2009

DAMAGE SCENARIO INDUCED IN THE CITY OF ROME BY THE L'AQUILA SEISMIC SEQUENCE OF APRIL 2009 (ITALY)

FRANCESCA BOZZANO^(*), ANNA CHIARA GIACOMI^(*),
SALVATORE MARTINO^(*) & COMANDO PROVINCIALE DEI VIGILI DEL FUOCO DI ROMA^(**)

^(*) Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Scienze della Terra e Centro di Ricerca CERi - P.le A. Moro 5 - 00185 Roma, Italy

^(**) Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco - Ufficio Coordinamento Soccorso - Via Genova 3/a - 00184 Roma, Italy

ABSTRACT

La crisi sismica aquilana del 2009, culminata con il *mainshock* del 6 aprile di M_w 6.3, ha causato numerosi danni anche all'edificato dell'area urbana di Roma. Lo scenario di danneggiamento è stato ricostruito con dati di archivio messi a disposizione dal Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco (VVF) di Roma. I dati provengono dalle richieste di sopralluogo effettuate dai cittadini e successivamente vagliate con certificazione di danno propriamente imputabile all'evento sismico. I più significativi danneggiamenti sono stati registrati nei quartieri Centro Storico, Prati, Mazzini, Testaccio, San Lorenzo, Tufello, Montespaccato, Centocelle-Tuscolano e in alcune aree in prossimità di Via Giustiniano Imperatore.

L'importanza della ricostruzione di tale scenario di danneggiamento sta nell'eccezionalità dell'evento sismico risentito dalla città di Roma nel 2009, nonostante tale risentimento non rappresenti il massimo atteso sulla base della pericolosità sismica locale.

L'analisi della distribuzione e dell'entità dei danni è stata rivolta principalmente a valutare l'esistenza di possibili relazioni con l'assetto geologico-stratigrafico del sottosuolo, con particolare riferimento alla presenza di depositi alluvionali oppure di substrato rigido. Più in particolare, per porre in risalto il suddetto effetto geologico, nell'analisi del danneggiamento sono stati tenuti in conto: i) la distribuzione dei danni e la loro concentrazione nell'intera area comunale di Roma; ii) l'omogeneità architettonica ed urbanistica dei diversi quartieri romani; iii) la densità abitativa.

Verificata la possibilità di confrontare diversi quartieri in termini di omogeneità architettonica e densità abitativa, l'analisi condotta sullo scenario di danneggiamento ha posto in risalto che i quartieri romani più danneggiati ricadono in settori caratterizzati dalla presenza nel sottosuolo di depositi alluvionali olocenici del Fiume Tevere.

TERMINI CHIAVE: crisi sismica aquilana, danneggiamento, Roma, alluvioni tiberine

INTRODUZIONE

Le fonti documentarie e gli studi più aggiornati sugli scenari dei terremoti storici (DBMI, 2004) testimoniano per la città di Roma, a partire dal 461 a.C., oltre 60 terremoti avvertiti dalla popolazione e numerosi danni di una certa entità al patrimonio monumentale della città che, nel com-

ABSTRACT

The L'Aquila seismic crisis of April 2009 caused some damage to buildings in Rome's urban area, located about 100 km west of the epicentral area. This paper reconstructs the damage scenario based on data provided by the Fire Brigade (FB) of the Provincial Department of Rome. The data base contains: i) records of telephone calls received by the FB and asking for inspections of possible damage; ii) reports of inspections of buildings carried out by its technical staff. The most significant damage was concentrated in some sectors of the urban area: historical centre; Prati, Mazzini, Testaccio, San Lorenzo, Tufello, Montespaccato and Centocelle-Tuscolano districts and, in part, via Giustiniano Imperatore.

The importance of this reconstruction lies in the exceptionality of the seismic event which was felt in Rome's urban area in 2009 and which, however, cannot be regarded as the maximum expected one, taking into account the local seismic hazard.

The interpretation of the damage scenario was focused on its possible correlation with the geological setting of the urban area. The following elements were considered: i) damage distribution and concentration in the urban area; ii) main architectural and urban planning characteristics of Rome's districts; iii) population density.

A comparison of the damage recorded in districts with similar architectural characteristics and population density inferred that the damage was concentrated in areas of shallow and soft subsoil, consisting of recent alluvial deposits from the Tiber River.

KEY WORDS: L'Aquila seismic crisis, damage, Rome, Tiber River alluvia

INTRODUCTION

Recent studies about historical earthquakes (DBMI, 2004) suggest that, since 461 B.C., Rome has suffered the effects of more than 60 earthquakes, with an intensity of up to the VII-VIII grade on the MCS scale (MOLIN *et alii*, 1995; DONATI *et alii*, 1999).

plesso, sono riferibili a risentimenti quantificabili con intensità fino al VII-VIII grado della scala MCS, (MOLIN *et alii*, 1995; DONATI *et alii*, 1999).

Su questa base di dati disponibili, AMBROSINI *et alii* (1986) e MOLIN & GUIDOBONI (1989) hanno evidenziato una stretta correlazione, a livello qualitativo, tra concentrazione del danneggiamento sismico subito dalla città di Roma in occasione di alcuni terremoti storici, e presenza di depositi alluvionali recenti attribuibili al Fiume Tevere ed ai suoi tributari.

Le relazioni tra assetto geologico-stratigrafico della porzione superficiale del sottosuolo e risposta sismica della città di Roma sono state già oggetto di attenzione della comunità scientifica (FUNICIELLO & ROVELLI, 1998; AA.VV., 2004; BOZZANO *et alii*, 2008; BONILLA *et alii*, 2010). Attraverso modellazioni numeriche (ROVELLI *et alii*, 1994, 1995a, 1995b, PANZA *et alii*, 2004b; BOZZANO *et alii*, 2008) è stata stimata in prima approssimazione la risposta sismica attesa in diversi settori della città in caso di risentimento di terremoti. Recentemente, inoltre, è stato dimostrato che l'eterogeneità del deposito alluvionale olocenico tiberino, e in particolare la presenza di livelli argillosi più deformabili interposti a livelli sabbiosi più rigidi, può avere effetti rilevanti sia in termini di amplificazione sismica che in termini di massima deformazione co-sismica all'interno dei suddetti depositi (BONILLA *et alii*, 2010).

Altri studi si sono concentrati, invece, sulla valutazione della vulnerabilità degli edifici limitatamente al centro storico (BRAMERINI *et alii*, 1995, COLOZZA & DOLCE, 1995), evidenziando la complessità di tale valutazione in una realtà come quella romana, dove il tessuto urbano è costituito da una stratificazione antropica estremamente articolata, che ha visto succedersi nel tempo diversi temi architettonici e urbanistici, in diversi casi modificati da interventi ben più recenti.

E' evidente, tuttavia, che la previsione su base teorica di scenari di danneggiamento, fondata sulla combinazione di risposta sismica locale e caratteristiche dell'edificato, necessita di ulteriori approfondimenti e verifiche sperimentali. In tal senso, le tecniche di rilevamento di effetti macrosismici ad alta densità di dati rappresentano, allo stato attuale, un'ottima opportunità di sperimentazione diretta, fornendo, peraltro, un valido supporto alle politiche di protezione civile ed alla pianificazione delle azioni di conservazione del patrimonio monumentale ed edilizio. Ad esempio, gli studi condotti attraverso un rilevamento macrosismico ad alta densità nell'area urbana di Roma (DONATI *et alii*, 2008), svolto a seguito del terremoto dell'Umbria (1997-1998), hanno confermato la possibilità di effetti di amplificazione locale in corrispondenza dei depositi alluvionali olocenici, sui quali si registra un'intensità MCS con una differenza di quasi un grado rispetto a quanto riscontrato su substrato rigido affiorante. Tali studi si sono basati sulla percezione della popolazione, ovvero non valutando il reale danno agli edifici osservato in concomitanza del terremoto, che rappresenta una misura più oggettiva del risentimento del sisma.

Questo studio presenta, invece, la valutazione del danneggiamento all'edificato nella città di Roma a seguito della crisi sismica aquilana del 6 aprile 2009 che è stato possibile effettuare grazie ad un censimento condotto in collaborazione con il Comando Provinciale dei VVF di Roma. L'obiettivo di tale studio è stato quantificare la distribuzione

Based on these data, AMBROSINI *et alii* (1986) and MOLIN & GUIDOBONI (1989) observed a close correlation between seismic damage concentration and occurrence of recent alluvial deposits.

The relationships between the geological setting of Rome's shallow subsoil and local seismic response were investigated by the scientific community (FUNICIELLO & ROVELLI, 1998; PANZA *et alii*, 2004a; BOZZANO *et alii*, 2008; BONILLA *et alii*, 2010). Local seismic response was estimated via numerical simulations (ROVELLI *et alii*, 1994, 1995a, 1995b, PANZA *et alii*, 2004b; BOZZANO *et alii*, 2008). Moreover, it was recently demonstrated that the heterogeneity of the Tiber's Holocene alluvial deposits - namely fine-grained plastic levels interbedded with sand horizons - can cause both amplification of the seismic signal and co-seismic maximum deformation in these plastic levels (BONILLA *et alii*, 2010; BONILLA *et alii*, 2011).

Other studies attempted to assess the vulnerability of buildings, especially in the historical centre (BRAMERINI *et alii*, 1995, COLOZZA & DOLCE, 1995): a painstaking task, given the complexity of the urban fabric, the overlapping of extremely different urban planning and architectural styles over time and the recent restorations and works.

It is common scientific opinion that the forecasting of earthquake-induced damage scenarios, based on a theoretical approach combining studies on local seismic response and analyses of building vulnerability, needs some experimental validation. In this sense, current techniques for surveying macroseismic effects at high data density offer a very good opportunity of experimentation and also give a valid support to Civil Protection activities and conservation of the monumental and built heritage. For instance, the numerous macroseismic surveys conducted in the urban area of Rome, after the Umbria-Marche (1997-1998) seismic sequence, confirmed local amplification effects in the Tiber's recent alluvia, with a difference of one grade on the MCS intensity scale with respect to bedrock. These surveys are based on perception of the population, without taking into account actual damage to buildings, which may be considered as a very good tool to measure the effects of an earthquake in an urban area.

This paper deals with a study of the damage to Rome's buildings caused by the L'Aquila seismic crisis of 6 April 2009, based on a survey conducted jointly with the FB of the Provincial Department of Rome. The aim of the study was to quantify the damage after the seismic event and, consequently, to infer possible amplification effects associated with the occurrence of recent alluvial deposits of the Tiber River. The method used to analyse damage distribution took into account both seismic vulnerability of buildings (via a rough simplification of the urbanisation age) and population density in the different areas of the city, in order to identify geological factors.

Fig. 1 - Ubicazione della città di Roma rispetto all' Appennino Centrale.
 LEGENDA: 1) depositi marini e continentali del Plio-Pleistocene e coperture alluvionali; 2) vulcaniti (Pleistocene); 3) depositi terrigeni sin tettonici (Miocene superiore-Pliocene Inferiore); 4) successioni carbonati che in facies di piattaforma e di mare aperto; 5)sovrascorrimento; 6) retro scorrimento; 7) faglia trascorrenti; 8) epicentri del mainshock del 6 aprile 2009 e del sisma di Avezzano del 13 gennaio 1915 che hanno prodotto a Roma i più elevati risentimenti sismici dell'ultimo secolo (modificato, da CIPOLLARI *et alii*, 1993)
 - Location of the city of Rome in the central Apennines area. LEG-
 END: 1) marine and continental deposits (Pliocene and Pleis-
 tocene) and alluvial deposits; 2) volcanic deposits (Pleistocene) ;
 syn-tectonic terrigenous deposits (upper Miocene-lower Pliocene);
 4) carbonate succession; 5) thrust; 6) back-thrust; 7) strike-slip
 fault; 8) epicentre of the 6 April 2009 L'Aquila earthquake and of
 the 13 January 1915 Avezzano earthquake, which have induced
 the most significant damage in the past 100 years (modified from
 CIPOLLARI *et alii*, 1993)

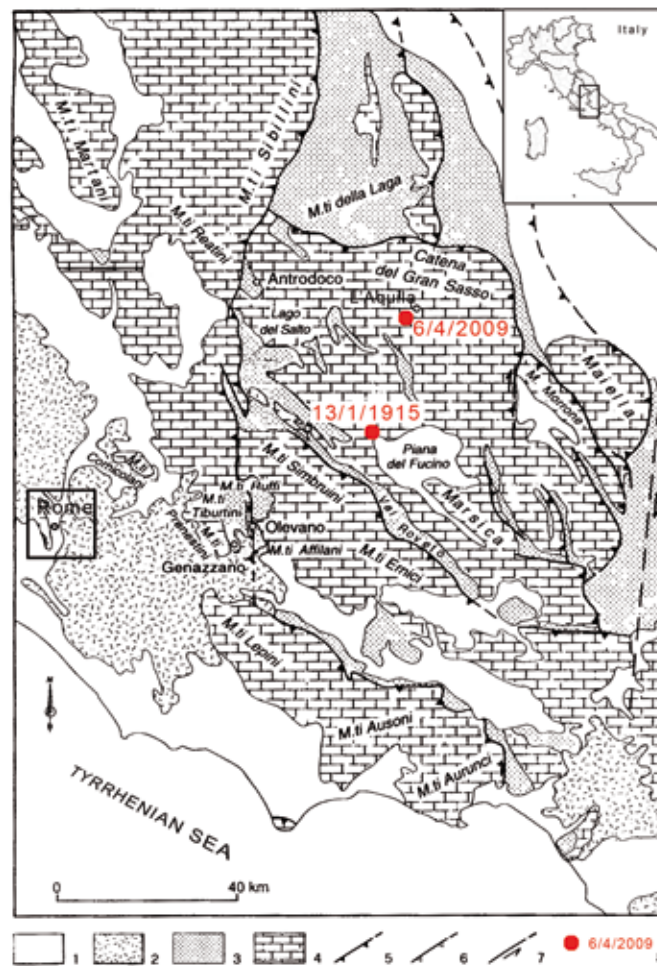
ed il livello di danneggiamento, riferibili a un evento sismico di magnitudo maggiore di 5 risentito a Roma, e ponderare deduttivamente l'eventuale effetto amplificativo connesso ai depositi del corpo alluvionale olocenico del Tevere. Il metodo qui seguito nell'analisi della distribuzione del danneggiamento tiene conto sia della vulnerabilità sismica dell'edificato, attraverso la semplificazione dell'età dell'urbanizzazione, sia della densità abitativa delle diverse zone della città, così da esaltare il fattore geologico connesso al livello di danno registrato.

ASSETTO GEOLOGICO E SISMICITÀ DELL'AREA URBANA DI ROMA

ASSETTO GEOLOGICO

Roma è sorta lungo la bassa valle del fiume Tevere espandendosi più di recente sull'adiacente piana costiera del margine tirrenico. Rispetto al settore dell'Appennino Centrale la città sorge in un'area posta alla convergenza tra le strutture geologiche del bacino umbro-marchigiano e della piattaforma laziale-abruzzese (Fig. 1). La natura dei terreni che caratterizzano il substrato geologico della città di Roma nei primi 100 m dal piano campagna è strettamente connessa all'evoluzione paleogeografica più recente dell'area romana che, sino a poco meno di 1 Ma, si trovava ancora al di sotto del livello del mare (FUNICIELLO *et alii*, 2008).

L'area di Roma, infatti, è stata caratterizzata da condizioni di sedimentazione marina dal Pliocene fino al Pleistocene inferiore (3.4-1.7 Ma). In questo periodo si sono accumulati spessi depositi marini costituiti da un'alternanza di livelli decimetrici di argilla e sabbia (BOZZANO *et alii*, 2000). Tali depositi, oggi fortemente consolidati, appartengono alla Formazione geologica delle Marne Vaticane (FUNICIELLO *et alii*,



GEOLOGICAL SETTING AND SEISMICITY OF ROME'S URBAN AREA

GEOLOGICAL SETTING

Rome was built (Fig. 1) on the Tyrrhenian coastland, on the southern part of Tiber River valley, in the area of convergence between the Mesozoic and Cenozoic geological structures of the Umbria-Marche pelagic basin and the Lazio-Abruzzo continental shelf. The rocks constituting the bedrock of the urban area are strictly related to the paleogeographic evolution of the Roman area, which remained below sea level until about 1 million years ago (FUNICIELLO *et alii*, 2008). The area experienced marine sedimentation from the Pliocene to the lower Pleistocene (3.4-1.7 Myr), with the deposition of a thick succession of marls (Blue Clays ascribed to the Monte Vaticano unit, hereafter UMV) consisting of an alternation of some decimetre-thick layers of hard clays and dense sands (BOZZANO *et alii*, 2000).

The Paleo-Tiber River delta developed about 0.9 Myr (KARNER *et alii*, 2000); during Middle Pleistocene and Holocene times, sedimentation processes were confined inside the river channels

2008) e costituiscono per la maggior parte il substrato geologico della città di Roma in corrispondenza del suo Centro Storico.

Successivamente, circa 0.9 Milioni di anni fa, nell'area di Roma si è sviluppato il delta del paleo-Tevere (KARNER *et alii*, 2000); durante il Pleistocene medio e l'Olocene i processi di sedimentazione sono stati confinati ai canali fluviali e piane costiere, fortemente controllati dalle variazioni glacio-eustatiche del livello del mare (KARNER & RENNE, 1998; MARRA *et alii*, 1998; KARNER & MARRA, 1998). Nello stesso intervallo di tempo la regione è stata interessata da un'intensa attività vulcanica, causa della messa in posto di una spessa copertura piroclastica, che oggi risulta intercalata a depositi continentali e che affiora diffusamente in corrispondenza dei numerosi rilievi collinari, oggi inglobati nel tessuto urbano della città di Roma.

L'attuale rete idrografica della valle del Fiume Tevere e dei suoi tributari si è definitivamente configurata durante l'ultimo periodo glaciale (WÜRME, 18 Ka) attraverso la re-incisione ed il conseguente approfondimento delle valli che si erano sviluppate in precedenza. Durante l'ultima glaciazione, infatti, la combinazione di una caduta del livello del mare (più di 120 m, BARD *et alii*, 1996) e di un sollevamento regionale di circa 20 m (BORDONI & VALENSISE, 1998), avrebbe causato una profonda erosione delle valli fluviali, fino al substrato plio-pleistocenico costituito dalle Marne Vaticane, che oggi si ritrova circa 60 m al di sotto dell'attuale livello del mare (MARRA & ROSA, 1995). Il successivo instaurarsi di condizioni climatiche temperate avrebbe provocato, a seguire, lo scioglimento dei ghiacciai con relativa ripida risalita del livello del mare e conseguente riempimento delle incisioni fluviali fino all'attuale livello di deposizione. Secondo alcuni Autori (FUNICIELLO & GIORDANO, 2008), la testimonianza dell'ultimo periodo glaciale sarebbe da ricercarsi nella geometria deposizionale del sistema Fiume Tevere. Il riempimento alluvionale recente della valle del Tevere a Roma è caratterizzato da una successione, spesso fino a 65 m, di sedimenti argilloso-sabbiosi eterogenei ed eteropici, alla base dei quali è ovunque presente un livello di ghiaie avente uno spessore di circa 10 m (BOZZANO *et alii*, 2000).

SISMICITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO ROMANO

Studi geologici e sismologici condotti nell'arco dell'ultimo quindicennio hanno consentito di delineare un quadro della sismicità che caratterizza l'area di Roma (MOLIN *et alii*, 1995; DBMI, 2004; CPTI, 2004), suddividendola in:

- sismicità regionale, legata alle aree sismogenetiche dell'Appennino centro-meridionale;
- sismicità locale, legata essenzialmente all'attività sismica del distretto vulcanico dei Colli Albani;
- sismicità urbana, legata alla modesta sismicità propria dell'area urbana di Roma.

L'attività sismica regionale è legata alle aree sismogenetiche dell'Appennino centro-meridionale, distanti tra i 60 e di 130 km da Roma. Essa è responsabile dei massimi risentimenti avvertiti nella città. I terremoti riferibili al settore abruzzese della catena (zone dell'Aquilano e del Fu-

and the coastal plain and controlled by the glacio-eustatic variation of sea level (KARNER & RENNE, 1998; MARRA *et alii*, 1998; KARNER & MARRA, 1998). In the meantime, an intense volcanic activity produced pyroclastic deposits, in some cases interbedded with continental ones.

The hydrographic network of the Tiber River valley and its tributaries acquired its current shape in the last glacial period (WÜRME, 18 kyr) via re-incision and consequent deepening of previously formed valleys. During the last glaciations, the combination of falling sea level (by more than 120 m, BARD *et alii*, 1996) with a regional uplift of about 20 m (BORDONI & VALENSISE, 1998) caused deep erosion of the fluvial valleys, down to the Pliocene bedrock of the UMB, now 60 m below sea level (MARRA & ROSA, 1995). Subsequent temperate climate conditions caused the melting of glaciers, the steep rising of sea level and the consequent partial filling of existing valleys up to the present deposition level. The Tiber River system derives from these processes (FUNICIELLO & GIORDANO, 2008).

The recent alluvial deposits have a relatively thin level of basal gravels grading into a thick pack of sands and clays (BOZZANO *et alii*, 2000). Recent studies (BOZZANO *et alii*, 2008 and BONILLA *et alii*, 2010) indicated that this fine-grained portion of the deposit - made up of normally to weakly overconsolidated clayey and sandy silts of low stiffness - might be responsible for local seismic amplification phenomena and high co-seismic strain levels.

SEISMICITY AND SEISMIC CLASSIFICATION OF ROME

In the past fifteen years, detailed geological and seismological studies classified the seismicity of Rome (MOLIN *et alii*, 1995; DBMI, 2004; CPTI, 2004) into the following three groups:

- regional seismicity, related to the seismogenetic areas of the central and southern Apennines;
- local seismicity, related to the seismic activity of the Colli Albani volcanic district and of the Tyrrhenian coast of southern Latium;
- urban seismicity, related to the low seismicity of the urban area of Rome.

Regional seismic activity originates from the central and southern Apennines seismogenetic area, 60-130 km far from Rome, and is responsible for the maximum seismic intensity felt in the city of Rome. In particular, the earthquakes arising in the Abruzzo Apennines (L'Aquila and Fucino areas) may reach a magnitude of up to 7, with a hypocentral depth of 10 to 20 km, and be responsible for the

cino), in particolare, possono generare eventi di magnitudo intorno a 7, a profondità ipocentrale compresa tra 10 e 20 km, con effetti massimi a Roma del VII-VIII MCS (PRESTININZI *et alii*, 2005; AA.VV., 2011).

L'attività sismica locale è, invece, dovuta alle aree sismogenetiche prossime a Roma ed essenzialmente ai distretti sismici del litorale tirrenico e della fascia vulcanica tosco-laziale (apparati Vulsino, Cimino, Sabatino e dei Colli Albani). L'area vulcanica a maggior tasso di attività sismica in tempi recenti (0.3 Ma o più recente) è quella dei Colli Albani, sede di terremoti piuttosto frequenti ma relativamente modesti in termini di energia liberata: le magnitudo massime sono prossime a 5.2, associate ad ipocentri di modesta profondità (comprese tra 3 e 6 km), e responsabili di intensità massime risentite nell'area urbana di Roma del VI grado MCS con tempi di ritorno di 20 anni. Tale attività si è presentata nel passato in caratteristiche sequenze sismiche (1981, 1987, 1989).

L'attività sismica di origine urbana, infine, compresa in un'area di 20 km di raggio, è caratterizzata da epicentri concentrati nell'area sud-orientale di Roma, da una ricorrenza non elevata, corrispondente a tempi di ritorno di 100 anni, da magnitudo inferiori a 4 e profondità ipocentrali massime intorno ai 12 km, come accertato in occasione del recente terremoto romano del 12 giugno 1995 del VI grado MCS.

Grazie agli studi di sismicità di base del territorio nazionale (INGV, 2006) è stata predisposta nel 2007 dalla Regione Lazio una nuova classificazione sismica del territorio regionale, che ha riguardato anche il territorio dei Municipi di Roma. A valle di questi studi di riclassificazione sismica, il Comune di Roma è stato suddiviso in 19 ambiti Municipali coincidenti con altrettante Unità Amministrative Sismiche (UAS), ognuna delle quali riferibile ad una delle zone (o sottozone) sismiche in cui è stata suddiviso l'intero territorio regionale (Fig. 2). In particolare, le UAS V, VI, VII, VIII, IX, X, XI e XII (ubicate in prossimità delle strutture sismogenetiche dei Colli Albani, dei Monti Tiburtini e dei Monti Prenestini) hanno pericolosità più elevata rispetto a quella dei restanti Municipi.

maximum macroseismic intensity felt in Rome, i.e. VII-VIII MCS (PRESTININZI *et alii*, 2005; AA.VV., 2011).

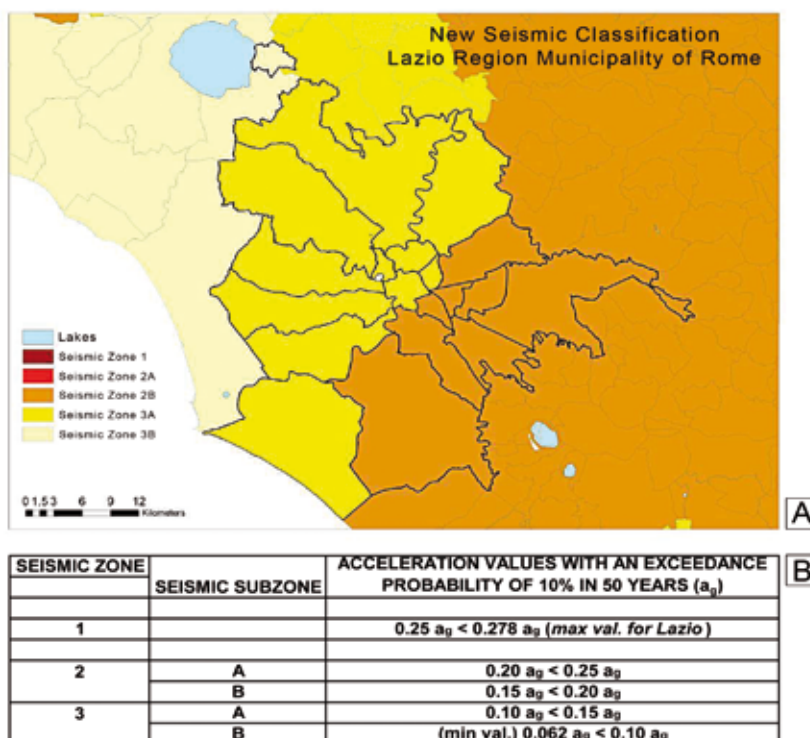
Conversely, local seismic activity develops in seismogenetic areas near Rome: in the Tyrrhenian coast seismic district and in the Tuscany and Latium volcanic districts (Vulsini, Cimino Sabatini and Alban Hills). The volcanic area (0.3 Myr or more recent) with the highest seismicity is the Alban Hills; in this area, earthquakes are frequent, with a magnitude of up to 5.2, a hypocentral depth of 3 to 6 km and, in Rome's urban area, they can cause a macroseismic intensity of up to VI MCS with a return time of 20 years. Recently, this seismic activity produced three seismic sequences (1981, 1987, and 1989).

The urban seismic activity originates in an area with a 20-km radius. It is concentrated in the southern part of the city and the related earthquakes have a magnitude of less than 4, a maximum hypocentral depth of about 12 km and a return time of about 100 years. An example of this seismicity is the 12 June 1995 earthquake, which caused macroseismic effects in Rome of up to VI MCS.

In 2007, as a result of studies on Italian seismicity (INGV, 2006), the Lazio region planned and completed a new seismic classification, including the administrative districts of the city of Rome. Rome is divided into 19 administrative districts, corresponding to as many seismic administrative units (UAS); each unit belongs to one of the seismic zones (or subzones) into which the Lazio region is divided (Fig. 2). In particular, UAS V, VI, VII, VIII, IX, X, XI and XII (located near the seismogenetic structures of the Alban Hills, Tiburtini Hills and Prenestini Hills) have a higher level of seismic hazard than the other ones.

Fig. 2 - A) Territorio del Comune di Roma suddiviso in zone e sottozone sismiche secondo la nuova riclassificazione regionale con indicazione della UAS di competenza. B) Zone e sottozone sismiche in relazione all'accelerazione di picco attesa su terreno rigido con tempi di ritorno di 475 yrs utilizzate per la riclassificazione sismica della Regione Lazio (da DGR Lazio n.545 del 26/11/2010, Allegato 1)

- A) Rome's area divided into seismic areas and sub-areas according to the new regional re-classification, with the specification of UAS. B) Seismic areas and sub-areas according to the expected PGA on bed-rock, with a return time of 475 yrs, used for seismic re-classification of the Lazio region (from DGR Lazio n.545 of 26/11/2010, Attach 1)



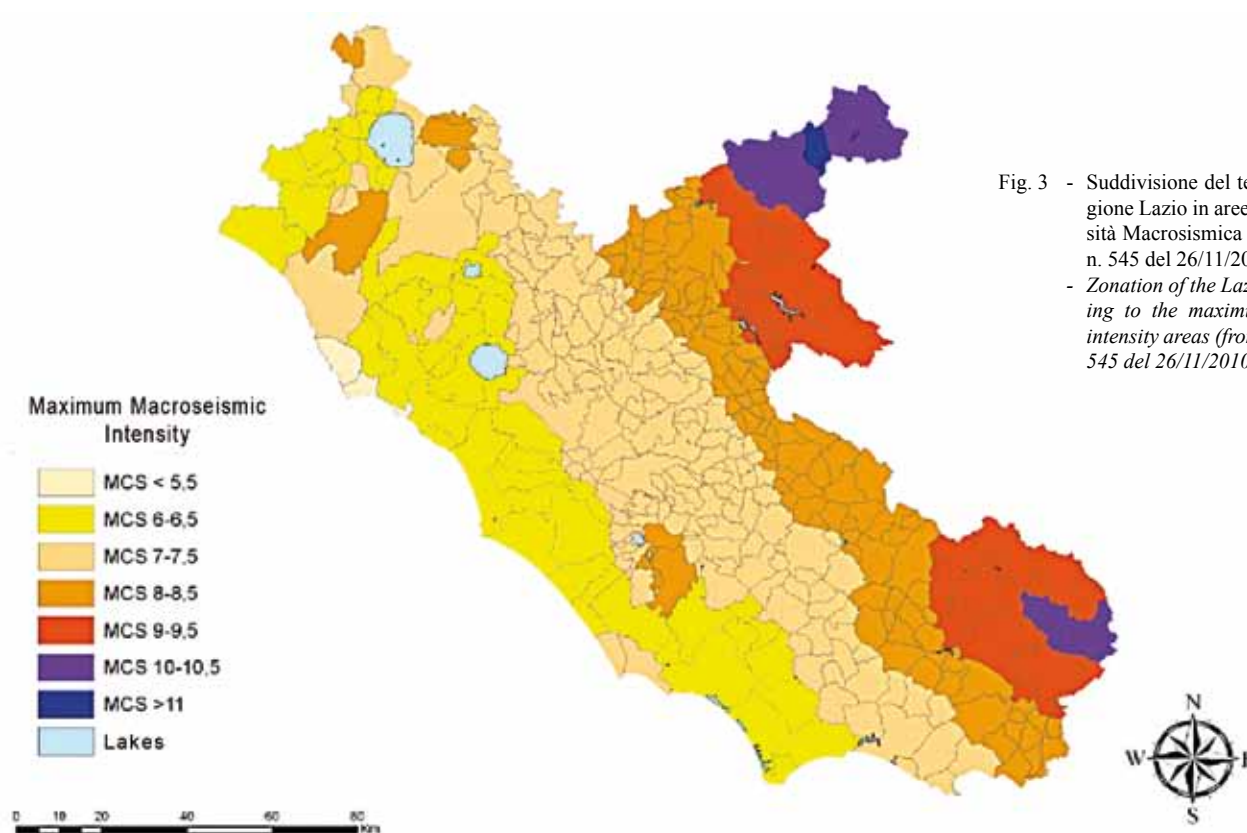


Fig. 3 - Suddivisione del territorio della Regione Lazio in aree a massima intensità Macrosismica (da D.G.R. Lazio n. 545 del 26/11/2010, Allegato 1)
 - Zonation of the Lazio region according to the maximum macroseismic intensity areas (from D.G.R. Lazio n. 545 del 26/11/2010, Attach 1)

Secondo gli studi di pericolosità sismica di base, le accelerazioni di picco attese al suolo rigido (PGA) risultano estremamente differenti fra la zona costiera di Ostia e le zone prossimali ai Colli Albani o ai Monti Tiburtini e Prenestini; più in particolare, il territorio del Comune di Roma risulta interessato da valori di a_g variabili da 0,075g a 0,200g per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Dal punto di vista delle Massime Intensità Macrosismiche osservate (DBMI, 2004; CPTI, 2004) l'area romana risente di intensità pari all'VII-VI della scala MCS (Fig. 3).

All'interno di questo quadro di previsione, la sequenza sismica aquilana del 2009 corrisponde ad uno scenario di risentimento per l'area romana riferibile alle sorgenti sismogenetiche centro-appenniniche. In particolare, la sequenza sismica in questione (Fig. 4) è stata caratterizzata dal *mainshock* di M_w 6.3 del 6 aprile avvenuto alle 3.33 UTC con meccanismo focale di tipo *normal dip slip* e *strike* N135 (PONDRELLI *et alii*, 2010), che è stato seguito da altre due forti scosse simiche di M_w compresa tra 5.5 e 6.0, rispettivamente il 7 aprile alle 14.37 UTC ed il 9 aprile alle 00.52 UTC, e da almeno un centinaio di scosse di assestamento di M_w compresa tra 3 e 5 nel mese successivo (AKINCI *et alii*, 2010). Gli ipocentri delle scosse principali e degli *aftershock* sono risultati compresi entro i primi 15 km (PONDRELLI *et alii*, 2010) in linea con i meccanismi di rottura crostale connessi a fagliazione normale che caratterizzano in questo settore dell'Appennino centrale (VANNUCCI *et alii*, 2004). Il *mainshock* del

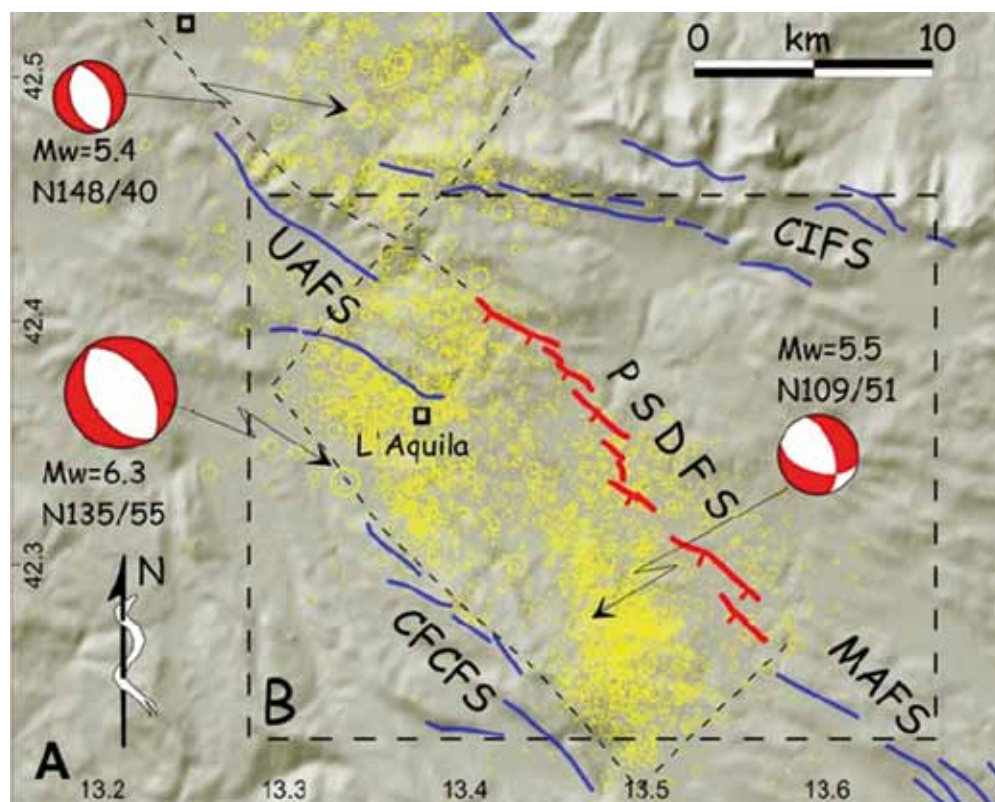
The maximum expected peak ground acceleration (PGA) significantly differs between the coastal area of Rome (town of Ostia) and the area close to the Alban Hills, the Tiburtini Hills and the Prenestini Hills. More particularly, the a_g values are in the range of 0.075 g to 0.200 g, with a probability of exceedance of 10% in 50 years (return period: 475 years).

In Rome's urban area, the maximum observed macroseismic intensity (DBM, 2004; CPTI, 2004) ranges between VII and VI MCS (Fig. 3)

In this predictive scenario, the 2009 L'Aquila seismic sequence corresponds to felt effects in the Roman area due to seismic sources located in the central Apennines. In particular, the mainshock ($M_w=6.3$) of 6 April had a normal dip-slip focal mechanism and a N135° strike (Fig. 4). The mainshock was followed by two other strong shocks (M_w in the 5.5-6.0 range) on 7 April (14:37 UTC) and 9 April (00:52 UTC), respectively, and by about 100 aftershocks with a magnitude of 3.0 to 5.0 in the following month (AKINCI *et alii*, 2010). The hypocentres of the mainshocks and aftershocks were 15-km deep (PONDRELLI *et alii*, 2010), in line with crustal rupture mechanisms associated with normal faulting in this part of the central Apennines (VANNUCCI *et alii*, 2004). The 6 April mainshock was recorded by 58 stations of the national accelerometric network (RAN); the highest PGA values were in the 0.3-065 g range.

Fig. 4 - Allineamento di faglie del sistema PSDFS, epicentri delle scosse principali e degli aftershock della crisi sismica aquilana del 2009 e meccanismi focali delle scosse principali. (modificata da GALLI *et alii*, 2010)

- Fault system (called PSDFS), epicentres of the mainshocks and aftershocks of the 2009 L'Aquila seismic sequence and focal mechanisms of the mainshocks (modified from GALLI *et alii*, 2010)



6 aprile 2009 è stato registrato da 58 stazioni della rete accelerometrica nazionale (RAN); i massimi valori di PGA sono stati registrati al centro del L'Aquila e sono risultati compresi tra 0.3 g e 0.65 g. L'evento sismico principale è associato ad una rottura lungo una faglia normale orientata NW-SE ed immergente a SW e localizzata a pochi chilometri dalla città de L'Aquila; l'epicentro del *mainshock* del 6 aprile 2009 è stato localizzato pochi chilometri a SW de L'Aquila. L'individuazione della faglia responsabile del sisma aquilano del 2009 è a tutt'oggi dibattuta: la sua lunghezza è ritenuta variabile da un minimo di 2.5 km (BLUMETTI *et alii*, 2009) ad un massimo di 19 km (GALLI *et alii*, 2009), vari Autori hanno individuato numerose rotture lungo il segmento della faglia di Paganica (VITTORI *et alii*, 2011), a sua volta parte di un più complesso sistema di faglie dirette che bordano ad est il bacino aquilano osservabile lungo un allineamento NW-SE che va da Collebricioni a S.Eusanio (PSDFS *sensu* GALLI *et alii*, 2010 - Fig. 4) mentre altri considerano ammissibile una rottura lungo una faglia cieca a basso angolo (VALENSISE *et alii*, 2009).

Il risentimento a Roma della sequenza sismica aquilana ha raggiunto un massimo di V MCS (INGV, 2009) mentre il massimo PGA registrato da un *array* sismometrico 3D installato dall'INGV in prossimità di Valco S. Paolo (CASERTA *et alii*, 2009) nella piana alluvionale del F. Tevere (BOZZANO *et alii*, 2008) è stato pari a circa 0.01g. Questo scuotimento, quindi, non può essere considerato il massimo atteso per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni che corrisponderebbe, invece, ad un PGA pari a circa 0.132g (INGV, 2006).

The mainshock was connected with a failure along a normal fault plane with a NW-SE trend and a SW dip, located some km from L'Aquila: the epicentre of the 6 April mainshock was located some km SW of the city. The identification of the fault associated with the L'Aquila seismic sequence is still open to debate: its length is considered to be in the range of 2.5 km (BLUMETTI *et alii*, 2009) to 19 km (GALLI *et alii*, 2009); various authors detected numerous ruptures along the segment of this fault called Paganica fault (VITTORI *et alii*, 2011); in turn, the Paganica fault is considered to be part of a more complex fault system that borders the eastern part of the L'Aquila basin and extends with a NW-S trend from Collebricioni to S. Eusanio (PSDFS *sensu* GALLI *et alii*, 2010 - Fig. 4); other authors supposed a rupture along a gently dipping blind fault (VALENSISE *et alii*, 2009). In Rome, the earthquake was felt with a maximum macroseismic intensity of V on the MCS scale (INGV, 2009) and a PGA of about 0.1 g was recorded by a 3D seismometric array near the Valco S. Paolo area (CASERTA *et alii*, 2009), in the Tiber River alluvial plain (BOZZANO *et alii*, 2008). Hence, this event cannot be considered as the maximum expected one with a probability of exceedance of 10% in 50 years, corresponding to a PGA of 0.132 g in this area (INGV, 2006).

METODOLOGIA PER L'ANALISI DEL DANNEGGIAMENTO SISMOINDOTTO A ROMA DALLA SEQUENZA SISMICA DEL 2009

A seguito della crisi sismica aquilana, il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università "Sapienza" di Roma, in collaborazione col Comando Provinciale dei VVF di Roma, ha condotto uno studio sulla distribuzione del danno ad edifici su tutto il territorio comunale, basato su un vasto campione di richieste di intervento pervenute alla Sala Operativa del 115, nel periodo post terremoto compreso tra il 6 aprile ed il 18 maggio 2009 (Fig. 5).

La procedura è così articolata:

- 1) a seguito di una richiesta di aiuto da parte del cittadino, mediante telefonata al centralino 115 dei VVF, l'operatore compila una scheda informativa con i dati del richiedente, l'indirizzo ed il tipo di intervento richiesto;
- 2) la richiesta viene inoltrata alla caserma di competenza territoriale e la squadra di turno si dirige sul posto, intervenendo secondo necessità;
- 3) al rientro in caserma il Capo-squadra redige uno specifico Rapporto di Intervento. Si tratta di una scheda che accompagna la registrazione della chiamata pervenuta alla Sala Operativa, specificando la situazione riscontrata sul posto all'arrivo della squadra e gli interventi effettuati. Inoltre, in funzione dell'entità del danno e della tipologia di intervento richiesto, in allegato viene redatto anche un Fonogramma, relativo a provvedimenti restrittivi urgenti che ne da comunicazione alle autorità competenti.

Ai fini del presente studio sono state selezionate le sole richieste di intervento, per un totale di 1.643, che presentavano come motivazione una tra le seguenti:

- a) verifica statica del fabbricato;
- b) verifica/rimozione di cornicioni interni, esterni, controsoffitti, tegole;
- c) verifica generica;
- d) crollo parziale/totale del fabbricato;
- e) puntellamenti.

Il Comando Provinciale dei VVF di Roma ha, dunque, fornito una banca dati nella quale per ciascuna segnalazione è stata fornita la data dell'intervento, indirizzo, il tipo di intervento, Rapporto di Intervento e l'eventuale Fonogramma relativo.

Si è preso atto che, per le medesime categorie di intervento, il Comando Provinciale dei VVF di Roma ha registrato nel 2009 un incremento del 360% rispetto all'intero periodo 2005-2008, nello stesso arco di tempo di indagine. Tale incremento è dunque da ritenersi come prima grossolana misura del danneggiamento collegato all'evento sismico de L'Aquila del 6 aprile 2009.

L'analisi della distribuzione del danno all'edificato all'interno del territorio urbano ha evidenziato, in prima approssimazione, la presenza di aree a più elevata concentrazione di danneggiamento, variamente distribuite sull'intero territorio e di non immediata interpretazione.

Al fine di porre in evidenza in maniera semi-quantitativa il nesso di causa-effetto tra assetto geologico del sottosuolo e distribuzione del suddetto danneggiamento, si è tentato di normalizzare i

METHODOLOGY USED FOR THE ANALYSIS OF THE DAMAGE INDUCED IN ROME BY THE 2009 SEISMIC SEQUENCE

After the earthquake of L'Aquila ($M_w=6.3$) on 6 April 2009 (BLUMETTI *et alii*, 2009), the Department of Earth Sciences of the University of Rome "Sapienza" and the FB of the Provincial Department of Rome analysed the distribution of the damaged buildings in the overall Roman area, based on a large sample of calls for service received by the FB (call centre number 115) in the period from 6 April to 18 May 2009.

The procedure used for data collection is as follows:

- 1) after receiving a call, the call centre operator fills in a form with the data and address of the applicant and the required service;
- 2) the form is forwarded to the local fire station and the crew on duty is dispatched to the site and takes action as needed;
- 3) the chief of the crew prepares a report, which is attached to the service call form; the report describes the situation identified on site and the actions taken. In some cases, if the damage is high and urgent actions are needed, a notice of urgent action is sent to the competent authorities.

In this study, service calls were selected if they were due to one or more of the following reasons:

- a) inspection of the structural stability of the building;
- b) inspection/removal of inner or outer eaves, false ceilings or tiles;
- c) general inspection;
- d) total/partial collapse of the building;
- e) temporary propping up of the building.

1,643 service calls were selected.

The FB of the Provincial Department of Rome supplied a database where each service call was identified by date, address and type of action made, inspection report and, where available, notice of urgent action to the competent authorities.

The database showed that, in 2009, in the same time interval (about 40 days) and for the same categories of service, the FB of the Provincial Department of Rome recorded a 360% increase in the number of calls vs. the 2005-2008 period. This finding gave a first rough measure of the level of damage induced by the seismic sequence of L'Aquila.

The map with the location of the calls showed that they were concentrated in some areas with an apparently uneven distribution of difficult interpretation.

To determine the causal link between geological setting and damage distribution in the overall urban area, the damage dataset was normalised by taking into account the following two other factors, on which damage distribution in an urban area is strictly dependent: population density and type of built-up area. Population density was obtained from the 2001 Istat data on the resident population, based on constituencies divided into polling stations. In contrast, the type of built-up area was roughly estimated on the basis of the period of urbanisation: the same period of urbanisation

dati di danneggiamento sugli edifici rispetto a due fattori che vengono ritenuti maggiormente influenti sulla distribuzione del danno in area urbana: la densità abitativa e la tipologia di edificato. Per quanto attiene alla densità abitativa le informazioni sono state tratte da dati ISTAT del 2001 sulla popolazione residente, in base a dati sull'elettorato attivo, suddiviso in seggi elettorali.

La tipologia di edificato è stata valutata, invece, tenendo conto per settori omogenei del periodo di urbanizzazione. Questo sottintendendo che allo stesso periodo di urbanizzazione corrisponda, in prima approssimazione, la stessa tipologia di edificato e dunque una simile vulnerabilità sismica, dipendendo quest'ultima dalle caratteristiche intrinseche della singola struttura e delle sue fondazioni (BENEDETTI & PETRINI, 1984; DOLCE & MASI, 2005; CHERUBINI *et alii*, 2006) nonché dal tipo di aggregato di più edifici tra loro vicini (LAGOMARSINO *et alii*, 2004) e dalle modifiche occorse nel corso della sua storia (BALBI *et alii*, 2004).

was assumed to grossly correspond to the same type of buildings and thus to have similar seismic vulnerability. The latter depends, in turn, on: i) the characteristics of the building and of its foundations (BENEDETTI & PETRINI, 1984; DOLCE & MASI, 2005; CHERUBINI *et alii*, 2006); ii) the type of agglomeration of buildings lying close to one another (LAGOMARSINO *et alii*, 2004) and the changes occurred in their history (BALBI *et alii*, 2004).

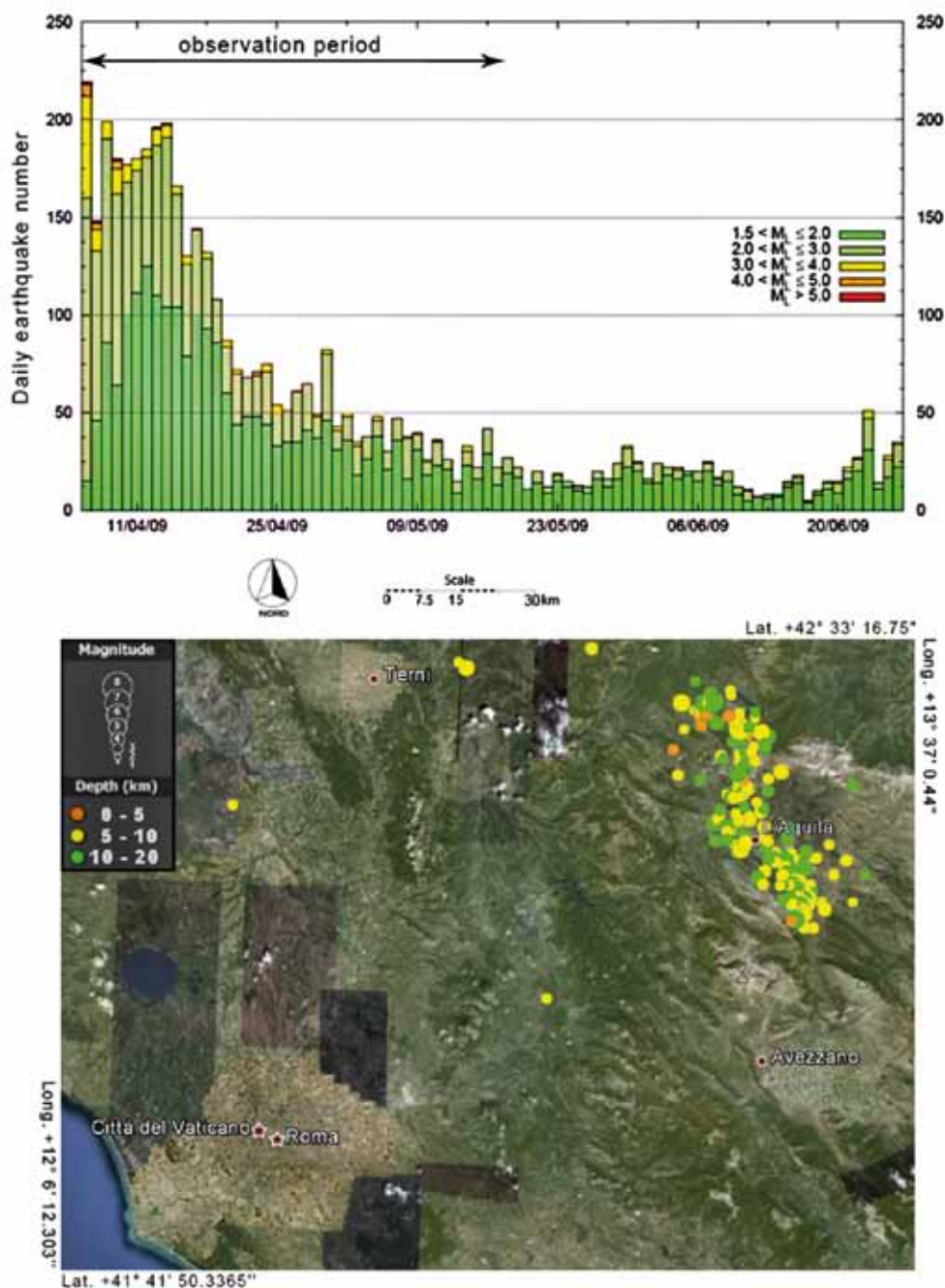


Fig. 5 - Andamento della sequenza sismica aquilana nel tempo dal 6 aprile al 18 maggio 2009 (fonte <http://www.iesn.it/index.php/sismo-abruzzo/mappa-eventi-kmz-export.html>)
 - L'Aquila Seismic crisis during the period from 6 April to 18 May 2009 (from <http://terremoto.rm.ingv.it/animation.html>)

RISULTATI E DISCUSSIONE

Delle 1.643 segnalazioni di intervento in totale pervenute ai VVF, 1.430 risultano avere quale causa di intervento effetti riconducibili al sisma del 6 Aprile. Sono stati esclusi dalla banca dati 213 interventi per i quali le evidenze raccolte durante i sopralluoghi condotti dai VVF portano ad escludere come causa la sollecitazione sismica subita dall'edificio attribuendola piuttosto ad altri fattori quali infiltrazioni d'acqua, cattivo isolamento delle tubazioni di riscaldamento, vetustà dell'edificio, ecc.

Per 238 segnalazioni è stato richiesto un provvedimento restrittivo urgente (Fonogramma).

Da un'attenta lettura di tutti i Rapporti di intervento e dei Fonogrammi forniti, è stato, dunque, possibile individuare un totale di 1.019 chiamate con interventi che hanno effettivamente rilevato un danno alla struttura; successivamente, si è proceduto a classificare le 1.019 richieste di intervento secondo 3 livelli di danneggiamento:

- Danno Basso: fessure millimetriche, distacco di piccole parti di intonaco;
- Danno Medio: fessure in diverse parti della struttura;
- Danno Alto: lesioni in corrispondenza dei pilastri e delle strutture portanti, con interessamento dei solai e dei controsoffitti.

La Tabella 1 riporta i dati sintetizzati.

La procedura adottata non discrimina se il danno interessa l'unità immobiliare o l'intera struttura dell'edificio.

La localizzazione delle 1.019 chiamate così classificate è stata proiettata sul territorio comunale riportato nella foto aerea (Fig. 6).

Nella Fig. 7, invece, il totale delle 1.019 chiamate è stato proiettato su una mappa in cui è sintetizzata la densità abitativa residente in Roma.

E' possibile osservare che la distribuzione spaziale ricalca le aree più densamente abitate (Fig. 7), e che, tuttavia, i settori che hanno risentito maggiormente dell'azione sismica, riportando danni di livello maggiore, risultano i quartieri Prati, Mazzini, San Lorenzo, Testaccio, Tufello, oltre alla zona dell'Auditorium di Roma ed alcuni edifici ubicati nei pressi di via Giustiniano Imperatore. Anche ampie dei quartieri Centocelle-Tuscolano e Montespaccato, pur presentando una densità abitativa pari ad altre aree della città, hanno registrato un grado di danneggiamento di categoria medio-alta (Fig. 7).

Infine, nell'Allegato 1 le 1.019 chiamate sono state proiettate su base geologica aggiornata della città di Roma (FUNICIELLO & GIORDANO, 2008). Si constata che diversi settori a più elevata concentrazione di danneggiamento o con più elevato grado di danno ricadono al di sopra di depositi alluvionali del Fiume Tevere o della rete dei suoi affluenti.

Tab. 1 - Tabella riassuntiva relativa al totale delle richieste di intervento pervenute ai VVF tra il 6 aprile ed il 18 maggio 2009
- *Summary of service calls received by the Fire Brigade call centre in the period from 6 April to 18 May 2009*

RESULTS AND DISCUSSION

Among the 1,643 calls received by the Fire Brigade (Provincial Fire Department of Rome), 1,430 were correlated with seismic input.

213 calls were discarded, because the related inspections had excluded seismic shaking as the cause of the damage (which was instead due to other factors, e.g. water infiltrations, bad thermal insulation, age of the building, etc...).

238 calls involved notices of urgent action being sent to the competent authorities.

Careful analysis of the overall data-set (including inspection reports and, where available, notices of urgent action to competent authorities) made it possible to single out 1,019 service calls associated with damage to buildings. The damage was classified into 3 levels:

- Low Damage: millimetre cracks, small-scale plaster detachments;
- Medium damage: cracks in different parts of the building;
- High damage: damage to pillars and other load-carrying structures, with involvement of floors and false ceilings.

The procedure did not discriminate between damage to the individual unit of the building and damage to the entire building.

Table 1 summarises all the data.

The location of the 1,019 service calls is shown in Fig. 6 (aerial photo of Rome).

Fig. 7 plots the calls on a population density map of Rome.

As is obvious, spatial distribution reflects the most densely populated areas (Fig. 7). However, the areas with the highest damage are the districts of Prati, Mazzini, San Lorenzo, Testaccio, Tufello, the area of the Rome Auditorium and some buildings close to via Giustiniano Imperatore. Large areas of the Centocelle-Tuscolano and Montespaccato districts, although having a population density similar to the one of other areas of the city, recorded medium-high damage (Fig. 7).

Finally, Attach 1 plots the 1,019 service calls on an updated geological map of the city of Rome (FUNICIELLO AND GIORDANO, 2008). It is clear that the sectors with the highest damage concentration and level overlies the alluvia of the Tiber and its tributaries.

Fig. 8 displays three Roman urban areas corresponding to three periods of urbanisation: pre-1870, 1870-1900 and 1900-1930

Dataset	
Total interventions by Fire Brigade	1643
Earthquake related interventions	1430
Interventions for declared damages	1019
Interventions followed by provisions	213

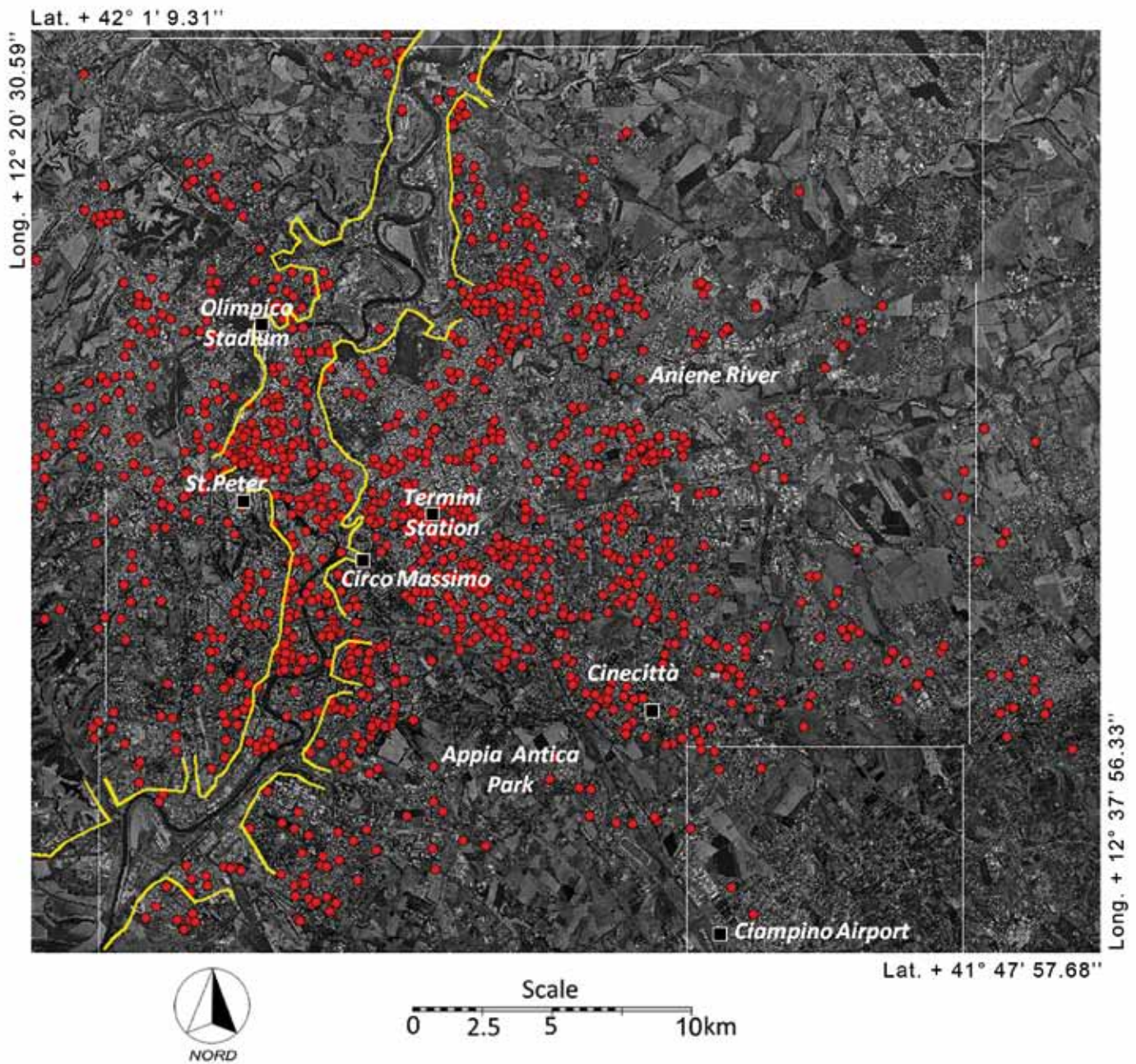


Fig. 6 - Distribuzione delle 1019 chiamate al centralino 115 del Comando Provinciale dei VVF di Roma riferite all'intero territorio della provincia di Roma. In giallo il limite alluvioni-substrato
 - Distribution of the 1,019 service calls to the call centre (number 115) of the FB of the Provincial Department of Rome. The yellow line bounds the Tiber river alluvial deposits with respect to the outcropping bedrock

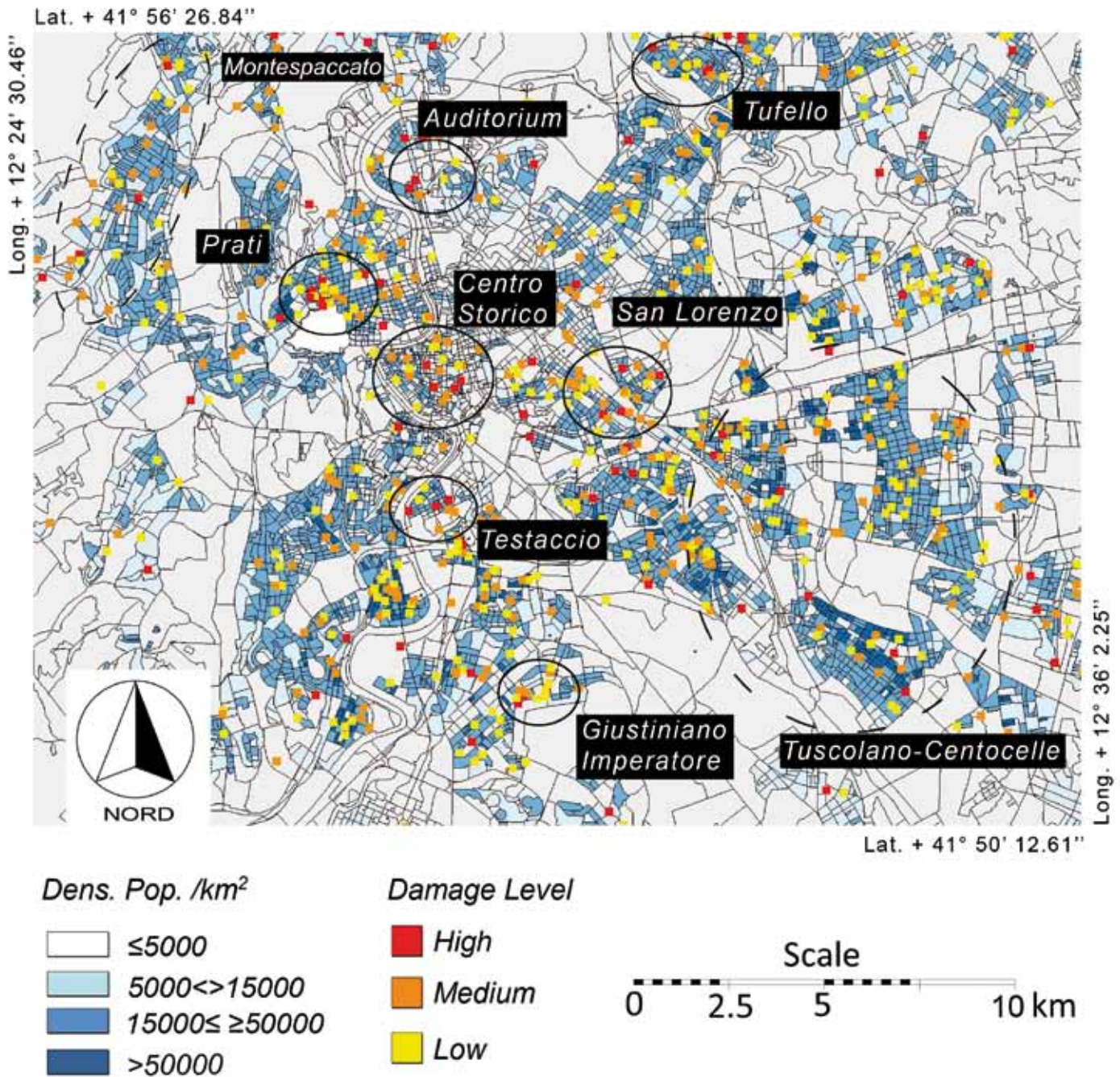


Fig. 7 - Distribuzione della densità di popolazione residente (fonte: ISTAT, 2001 su celle elettorali, su concessione VVF) e degli interventi dei VVF a fronte di danno riferibile al sisma del 6 aprile 2009, con relativo livello di danneggiamento
 - Density of the resident population (from ISTAT, 2001, based on polling stations, by courtesy of the FB of the Provincial Department of Rome, service calls after the seismic event of 6 April 2009 and related level of damage)

In Fig. 8, all'interno dell'area urbana di Roma sono state distinte le aree relative a tre differenti epoche di espansione urbana ovvero: edifici costruiti pre-1870, edifici costruiti nel periodo 1870-1900, edifici costruiti nel periodo 1900-1930 (SOLERO, 2001; ROSSI, 1997). A ciascuna di tali aree appartengono edifici che, in prima analisi, possono essere accorpati, per analogia di tipologia abitativa e tecniche costruttive. Al fine di quantificare l'effetto della tipologia di sottosuolo sulla concentrazione e sul grado di danneggiamento indotti dal sisma del 6 aprile 2009, sono stati operati dei confronti tra settori urbani geologicamente differenti, ma sufficientemente uniformi per quanto attiene a densità abitativa e periodo di urbanizzazione; quest'ultimo, in particolare, è stato assunto come rappresentativo di similitudine della tipologia edilizia. Si è quindi effettuato un confronto tra quartieri in piana alluvionale e su substrato edificati in fasi di espansione urbana tra loro contemporanei; più in particolare, sono stati effettuati 2 confronti: un confronto tra il quartiere Testaccio e Garbatella, edificati tra l'inizio secolo XX e i primi anni '30 e tra il quartiere Mazzini e Nomentano, edificati nel periodo 1870-1900 (Fig. 9).

buildings (SOLERO, 2001; ROSSI, 1997); on a first approximation, each area has buildings of similar type and for the construction of which similar techniques were used.

To determine a possible geological control of damage distribution and level, comparisons were made between some city sectors, taking into account their urbanisation period and population density.

The comparisons were made between districts resting on the alluvial plain and on the geological bedrock, but urbanised more or less in the same period. In particular, two comparisons were made: Testaccio vs. Garbatella, both developed from the beginning of the 20th century to 1930; and Mazzini vs. Nomentano, both urbanised in the period from 1870 to 1900 (Fig. 9). Population density and size of the areas were fairly similar (ISTAT, 2001).

A "call index" was computed for each district as the ratio of the number of service calls to the surface area (km²) of the district. This index normalises the data-set of a given district with respect to its surface area, thus permitting comparisons between districts. The call index was computed for the total number of service calls and

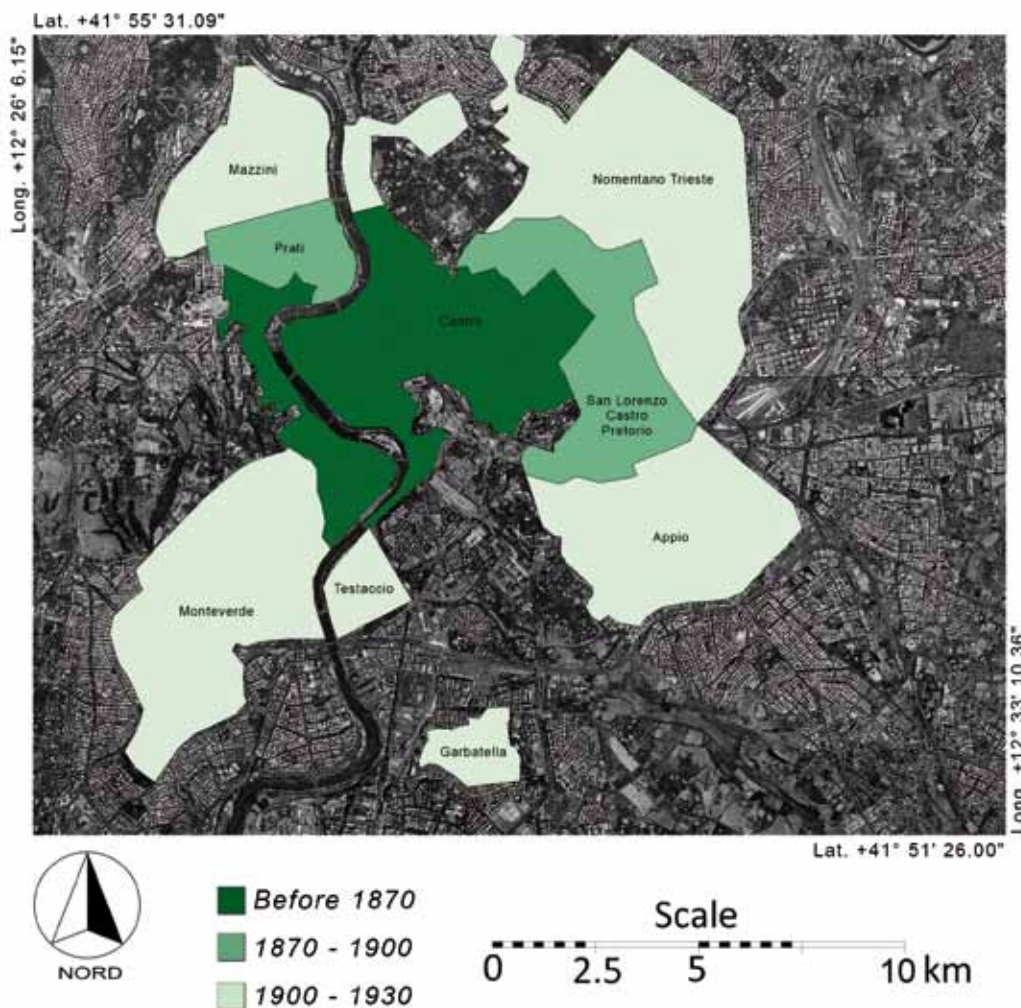


Fig. 8 - Quartieri edificati durante le diverse fasi di espansione urbana della città di Roma (i colori più chiari indicano espansioni urbane più recenti)
 - Period of urban expansion of Rome (the clearest colours correspond to more recent expansion areas)

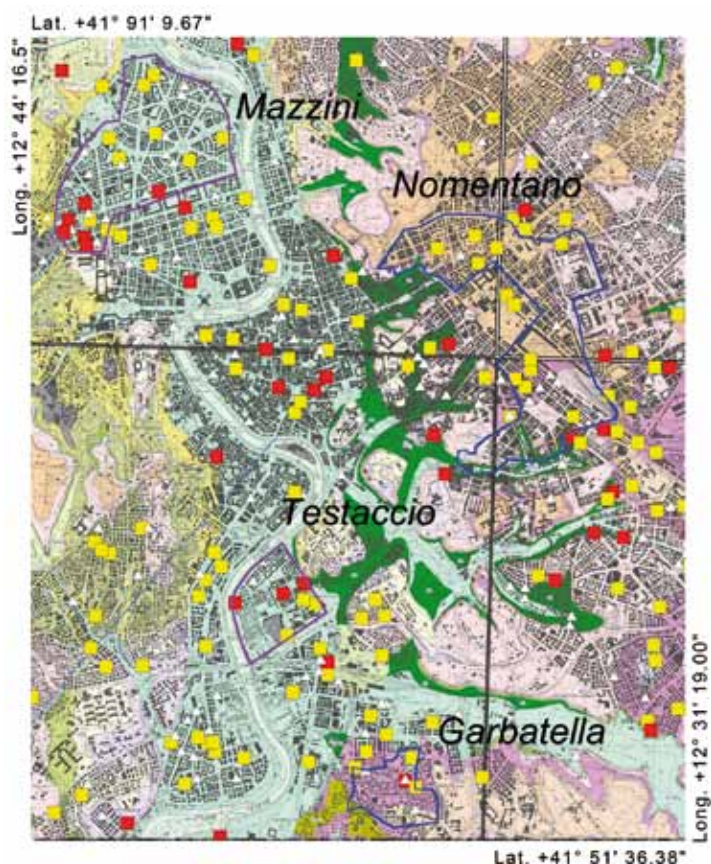


Fig. 9 - Confronto tra quartieri omogenei per densità abitativa e tipologia architettonica: in viola sono delimitati i quartieri edificati su depositi alluvionali, in blu i quartieri edificati su substrato. Per la legenda dello stralcio di carta geologica (da FUNICIELLO & GIORDANO, 2008) vedere Allegato 1
 - Similar districts in terms of population density and type of built-up area. Purple: boundaries of districts overlying recent alluvial deposits; Blue: boundaries of districts overlying the geological bedrock. See Annex 1 for the legend to the geological map (from FUNICIELLO & GIORDANO, 2008)



Tab. 2 - Tabella riassuntiva dei parametri ricavati per il confronto sul danneggiamento tra quartieri omogenei per densità abitativa e tipologia architettonica
 - Parameters used to compare the damage of districts

Quarter	Age	Subsoil	Quarter Area (kmq)	Inhabitants	Interventions by VVF	N° of damages		
						L	M	H
Testaccio	1930	Alluvia	0.597	15595	8	2	3	3
Garbatella	1930	Substratum	0.535	12367	7	3	3	1
Mazzini	1900	Alluvia	1.907	30560	29	14	9	6
Nomentano	1900	Substratum	1.991	28182	16	6	10	0

Per ciascuno dei due confronti si sono considerate 2 aree simili in termini di estensione e densità di popolazione residente (ISTAT, 2001). Per poter interpretare la distribuzione spaziale del dato, si è dunque calcolato per ciascuna area l'“indice di chiamata”, quale rapporto tra il numero di chiamate significative e l'area espressa in km². Questo parametro normalizza eventuali differenze di estensione territoriale tra i quartieri messi a confronto; esso è stato calcolato sia per il totale delle 1.019 chiamate che per le singole classi di danno.

Dal confronto tra i dati elaborati (Tab. 2) si è ottenuta l'analisi grafica riportata in Fig. 10.

for the individual levels of damage.

The results of the two comparisons are reported in Table 2 and Figure 10.

The Testaccio district, which rests on the Tiber River alluvial plain, has a call index higher than the one of the Garbatella district (14.0 vs. 13.0), which overlies the geological bedrock. This difference persists in the three levels of damage: level 2 (medium damage) at Testaccio corresponds to a call index of 6.0 vs. 5.0 at Garbatella; level 3 (high) at Testaccio corresponds to a call index of 6.0 vs. 3.0 at Garbatella.

Tale analisi mostra come per il quartiere Testaccio, sito in piana alluvionale, l'indice di chiamata sia maggiore di quello calcolato per il quartiere Garbatella (14.0 contro 13.0), e come, in particolare, questa differenza risulti per le classi di danno 2 e 3.

In particolare, la classe di danno 2 (danno medio) per il quartiere Testaccio corrisponde ad un valore dell'indice di chiamata pari a 6.0, in confronto con il valore di 5.0 per il quartiere di Garbatella; questo dato si conferma anche per il livello di danno 3 (elevato) che per il quartiere Testaccio corrisponde ad un indice di chiamata pari 6.0, da confrontare con il valore di 3.0 per la Garbatella.

Se il confronto riguarda i quartieri di espansione urbanistica post-Unione d'Italia (1870-1900) i dati sono ancor più evidenti: il quartiere Nomentano, sito su substrato vulcanico, registra un indice di chiamata pari a 8.00, ovvero circa la metà di quello del quartiere Mazzini che sorge, invece, in piana alluvionale dove tale indice è pari a 15.0; anche tale caso, inoltre, il confronto per classi di danno evidenzia come il quartiere Mazzini abbia risentito maggiormente del sisma in termini di livello di danneggiamento, registrando per tutte le 3 classi di danno un indice di chiamata maggiore rispetto al quartiere Nomentano; in particolare, si raggiunge un valore dell'indice pari a 3.1 per la categoria di danno elevato, mentre nel caso del quartiere Nomentano nessun dato di danneggiamento su quel livello è stato rilevato.

Dai dati fin qui esposti (Tab. 2) si evince che i quartieri Testaccio e Mazzini, che sorgono in piana alluvionale, hanno mostrato una maggior numero di danni all'edificato rispetto ai loro corrispondenti su substrato (Garbatella e Nomentano), a parità di età dell'edificato, di estensione dell'area e di numerosità della popolazione residente. Questo dimostra che la concentrazione e il livello di danneggiamento rilevato per gli edifici localizzati in piana alluvionale possono essere ragionevolmente attribuibili all'amplificazione sismica connessa all'assetto geologico del sottosuolo, ovvero alla presenza dei depositi alluvionali olocenici della valle tibolina.

CONCLUSIONI

Grazie alla collaborazione del Corpo dei Vigili del Fuoco del Comando Provinciale di Roma è stato possibile disporre di un archivio di dati contenente numerose informazioni sul danneggiamento alle strutture edilizie del Comune di Roma, riconducibili al risentimento del terremoto del 6 aprile 2009; tale archivio è basato sulle numerose richieste di intervento pervenute al centralino 115 per verifica statica all'edificato (es. verifica/rimozione cornicioni interni, esterni, controsoffitti, tegole, verifica generica). Dal campione originario si è quindi elaborato un archivio di richieste di intervento per verifica statica all'edificio, che ha riguardato 1019 chiamate, successivamente catalogate per categoria di danno: basso, medio, alto.

Il quadro di danneggiamento all'edificato che è stato così riscontrato può essere considerato alla stessa stregua dei risultati di un esperimento condotto a "scala reale" per le dimensioni ma a "scala ridotta" per le energie messe in gioco dal sisma. Esso ha consentito,

	Testaccio	Garbatella	Mazzini	Nomentano
Intervention Index	14	13	15	8
Density pop.	52210.12	23079.95	16017.87	14153.66

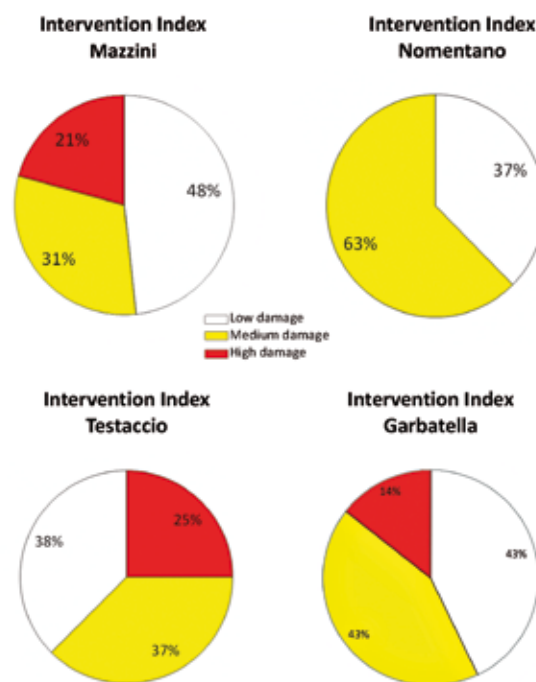


Fig. 10 - Analisi grafica relativa al confronto effettuato tra i singoli quartieri. I numeri all'interno dei grafici corrispondono all'indice di chiamata percentuale per classi di danno
 - Comparisons between districts. The numbers identify the call index (%) for each level of damage

The data of the districts built after the unification of Italy (1870-1900) corroborate this trend: the Nomentano district, which rests on the volcanic bedrock, has a call index of 8.0, almost half the one of Mazzini, which was built on the alluvial plain (15.0). Also in this case, the differences in the call index persist if the call index is related to the level of damage, i.e. the call index related to high damage reaches a value of 3.1 for Mazzini, while no data related to this level are recorded for Nomentano.

These results (Tab. 2) infer that Testaccio and Mazzini, lying over the alluvial plain of the Tiber River are more damaged than Garbatella and Nomentano, resting on different formations of the bedrock, even though they have similar age and comparable population density.

This implies that the damage concentration and level of the buildings overlying the alluvial deposits may be related to seismic amplification effects due to the geological setting and, more particularly, to the presence of soft soils belonging to the Holocene alluvial deposits.

comunque, di individuare i settori più vulnerabili della città in caso di risentimento di terremoto. Tale scenario può ritenersi valido anche per risentimenti legati a sismi di più elevata magnitudo quali quelli associati a sorgenti sismogenetiche centro-appenniniche.

Tenuto conto della modalità e delle approssimazioni con cui si è condotto lo studio, l'analisi della distribuzione spaziale sul territorio comunale di Roma ha messo in risalto la presenza di settori che, pur presentando una densità abitativa pari ad altre (basandosi su dati censuari ISTAT, 2001), hanno mostrato un maggior danneggiamento a valle della crisi sismica del 2009. Tali settori, in particolare, sono: il Centro Storico, Mazzini, Testaccio, San Lorenzo, Tufello, Montespaccato e Centocelle-Tuscolano e alcune aree in prossimità di Via Giustiniano Imperatore.

Da una più particolareggiata analisi comparata, volta ad esaltare i fattori geologici rispetto a quelli di concentrazione abitativa e di tipologia di edificato (ovvero il quadro di danneggiamento del quartiere Testaccio a confronto con quello di Garbatella e del quartiere Mazzini a confronto con quello del Nomentano), è emerso che i settori in piana alluvionale hanno registrato sistematicamente, per ogni classe di danneggiamento, un numero significativamente maggiore di richieste di intervento. Tra queste, di particolare significato e complessità è l'area del Centro Storico.

L'elemento conoscitivo ulteriore che emerge da questa analisi, rispetto al quadro di conoscenze disponibile in letteratura in merito alla risposta sismica locale nell'area urbana di Roma, è il peso che il solo fattore geologico, ed in particolare la presenza o meno di un sottosuolo alluvionale, può assumere sul danneggiamento all'edificato, causando fino al raddoppio della numerosità dei danni indotti.

Se la presenza di depositi alluvionali recenti è presumibilmente la causa della particolare vulnerabilità delle aree sorte in piana, è pur vero che rimangono irrisolte le cause di concentrazione di danneggiamento in quartieri come il Tufello, San Lorenzo, Centocelle-Tuscolano e Montespaccato, che, almeno in prima approssimazione, non sembrano essere accomunati da particolari contesti geologici ma che, tuttavia, meriterebbero un approfondimento delle possibili cause di danneggiamento.

OPERE CITATE / REFERENCES

- AA.VV. (2004) - *Modellazione realistica della sollecitazione sismica per megalopoli e grandi centri urbani*. Progetto 414 UNESCO/IUGS/IGCP. Realistic modeling of seismic input for megacities and large urban areas; the UNESCO/IUGS/IGCP project 414, *Geologia Tecnica & Ambientale*, **1**: 5-42.
- AA.VV. (2011) - *La pericolosità sismica nel Lazio*, a cura di SCARASCIA MUGNOZZA G.. Quaderni dell'Italian Journal of Engineering Geology and Environment, **4**. Casa Editrice Università La Sapienza. 248 pp. ISBN 978-88-95814-61-2
- AKINCI A, MALAGNINI L. & SABETTA F. (2010) - *Characteristics of the strong ground motions from the 6 April 2009 L'Aquila earthquake, Italy*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **30**: 320-335.
- AMBROSINI S., CASTENETTO S., CEVOLAN F., DI LORETO E., FUNICIELLO R., LIPERI L. & MOLIN D. (1986) - *Risposta sismica dell'area urbana di Roma in occasione del terremoto del Fucino del 13 Gennaio 1915*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **35**: 445-452.
- BALBI A., FRUMENTO S., LAGOMARSINO S. & PENNA A. (2004) - *Una procedura integrata per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici scolastici*. ANIDIS - XI Cong. Naz. "L'Ingegneria Sismica in Italia", Genova 25-29 Gennaio, 2004.
- BENEDETTI D. & PETRINI V. (1984) - *On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure*. *L'industria delle Costruzioni*, **18**: 66-67.
- BLUMETTI A.M., COMERCI V., DI MANNA P., GUERRIERI L. & VITTORI E. (2009) - *Geological effects induced by the L'Aquila earthquake (6 April 2009, $M_l = 5.8$) on the natural environment*. ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia, preliminary report, 38.

CONCLUSIONS

Thanks to co-operation with the Fire Brigade of the Provincial Department of Rome, a database of the damage caused by the 2009 L'Aquila seismic sequence to the buildings of Rome's urban area was created. The database stores the calls for service received by the call centre (number 115), managed by the FB of the Provincial Department of Rome. The required services concerned inspections of the structural stability of buildings. By processing this original dataset, three levels of damage were distinguished: low, medium, high.

The ensuing damage scenario may be regarded as the result of a "real-scale" test in terms of extent and of a "small-scale" one in terms of seismic energy. The scenario identifies the most vulnerable sectors of the urban area upon seismic shaking or a more severe earthquake, such as the maximum expected one from the central Apennines.

Taking into account the method and approximations used in the study, the analysis of the damage recorded after the 2009 seismic crisis evidenced that: in spite of similar population density, some parts of the urban area were more damaged than other ones: historical centre, Prati, Mazzini, Testaccio, San Lorenzo, Tufello, Montespaccato and Centocelle-Tuscolano and some areas near Via Giustiniano Imperatore. Moreover, a comparative analysis aimed at defining the role of geological factors demonstrated that the sectors of the urban area resting on the alluvial plain had a more significant damage. Among these areas, the historical centre represents a very complex case.

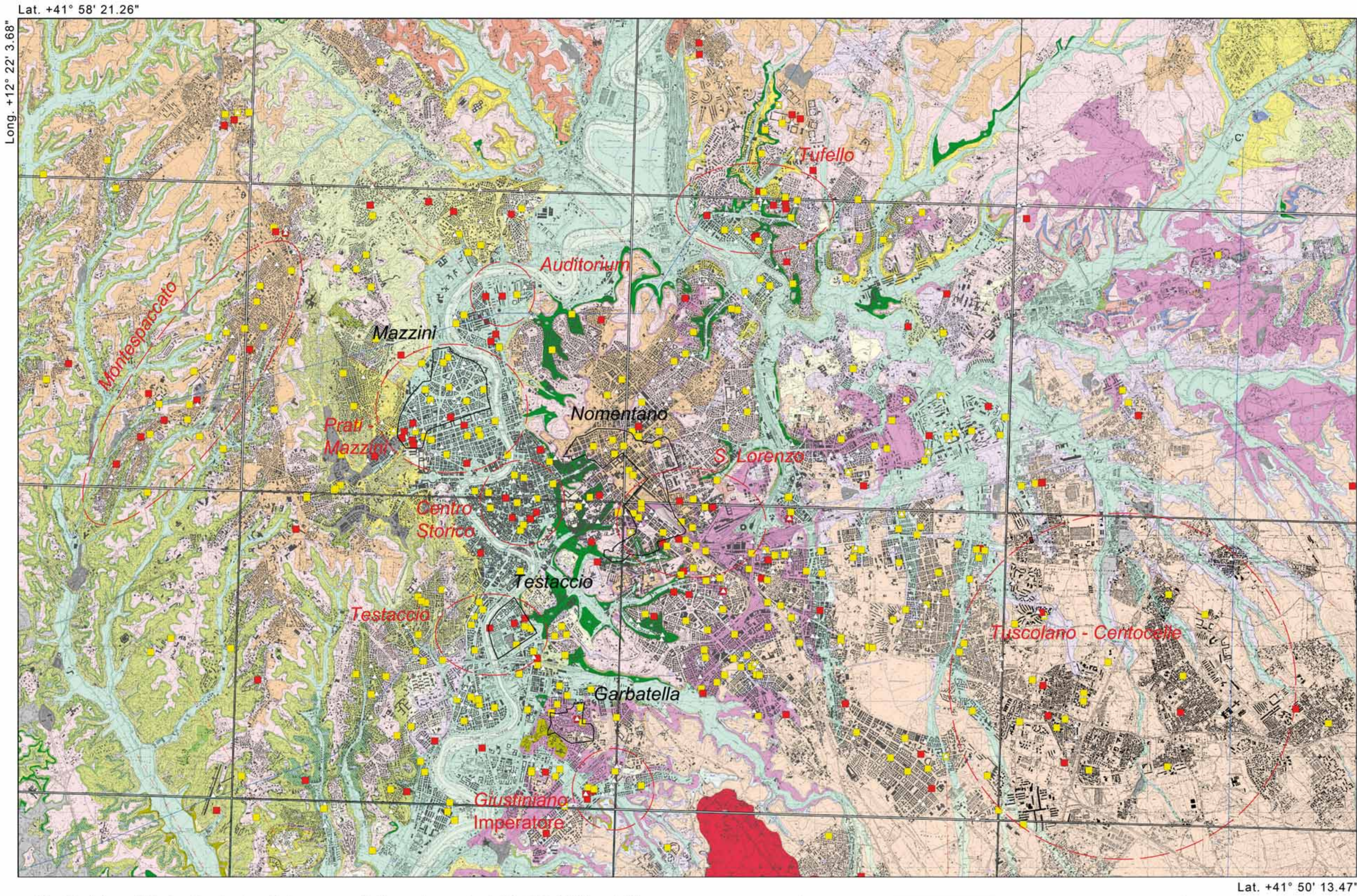
With respect to state-of-art literature on seismic response in Rome's urban area, the study highlighted the role that geological factors - namely, the occurrence of recent alluvial deposits - may play in doubling the effects of an earthquake and the related damage to the built heritage.

Hence, geological factors are presumably the cause of the seismic vulnerability observed in the city sectors overlying the alluvial plain. Nonetheless, the causes of the concentration of damage at Tufello, San Lorenzo, Centocelle-Tuscolano and Montespaccato, whose geological features are fairly different, are still to be explained and deserve more thorough analyses.

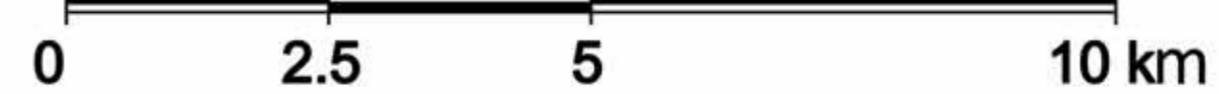
- BONILLA F., BOZZANO F., GELIS C., GIACOMI A.C, LENTI L., MARTINO S. & SEMBLAT J.F. (2010) - *Multidisciplinary study of seismic amplification in the historical center of Rome, Italy*; Atti del 5th Int. Conf. On Recent Advances in Geotech. Earthq. Engin. And Soil Dynamics, May 24-29 2010, San Diego, California.
- BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G. & VALENSISE G. (1995) - *Catalogo dei forti terremoti dal 461 a.C. al 1980*, ING-SGA, Bologna.
- BOZZANO F., ANDREUCCI A., GAETA M., SALUCCI R. & ROSA C. (2000) - *A geological model of the buried Tiber River valley beneath the historical center of Rome*. Bull. Eng. Geol. Env., **59**: 1-21.
- BOZZANO F., CASERTA A., GOVONI A., MARRA F. & MARTINO S. (2008) - *Static and dynamic characterization of alluvial deposits in the Tiber River Valley: new data for assessing potential ground motion in the city of Rome*. Journal of Geophysical Research, **113**: 1-21.
- BOZZANO F., FUNICELLO R., GAETA M., MARRA F., ROSA C. & VALENTINI G. (1997) - *Recent alluvial deposits in Rome (Italy): morpho-stratigraphic, mineralogical and geomechanical characterisation*. Proc. Int. Symp. Engineering Geology and the Environment, Publ., **1**: 1193-1198.
- BRAMERINI, F., DI PASQUALE, G., ORSINI, A., PUGLIESE, A., ROMEO, R. & SABETTA, F. (1995) - *Rischio sismico del territorio italiano. Proposta per una metodologia e risultati preliminari*. Rapporto tecnico del Servizio Sismico Nazionale SSN/RT/95/01, Roma.
- CASERTA A., ROVELLI A., MARRA F., GOVONI A. & DELLAMONICA G. (2009) - *Lo scuotimento registrato nella città di Roma durante i più forti terremoti della sequenza aquilana*. GNGTS 2009, Abstract Volume (**2.1**) : 274-275.
- CIPOLLARI P., COSENTINO D. & PERILLI N. (1993) - *Analisi biostratigrafica dei depositi terrigeni a ridosso della linea Olevano-Antrdoco*. Geologica Romana, **29**.
- CHERUBINI A., CIALONE G., CIFANI G., DE MATTEIS U., GORETTI A., MARTINELLI A. & CHERUBINI F. (2006) - *Inventario e vulnerabilità dei sistemi urbani*.
- COLOZZA R. & DOLCE M. (1995) - *Vulnerabilità e rischio di danneggiamento degli edifici*. Memorie descrittive della Carta geologica d'Italia, **50**: 497-542.
- CPTI04 (2004) - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani dal 217 a.C. al 2002*. INGV. website <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>
- D.G.R. Lazio n. **387** del 22/05/2009.
- DBMI04 (2004) - *Database Macrosismico Italiano*. INGV (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04>).
- DECRETO MINISTERIALE INFRASTRUTTURE E TRASPORTI del 14.01.2008 - *Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*.
- DOLCE M. & MASI A. (2005) - *Linee guida per la valutazione della vulnerabilità di edifici strategici rilevanti*. Regione Basilicata, Dipartimento strutture, Opere Pubbliche e Mobilità e Centro competenza regionale sul rischio sismico (CRiS).
- DONATI S., CIFELLI F. & FUNICIELLO F. (2008) - *Indagini macrosismiche ad alta densità per lo studio del risentimento sismico nella città di Roma*. Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia, **80**: 3-13.
- DONATI S., FUNICIELLO R. & ROVELLI A. (1999) - *Seismic response in archaeological areas: the Case-History of Rome*. Jour. Appl. Geophys., **41**: 229-239.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (2008) - *Carta Geologica del comune di Roma in scala 1:10.000 (18 tavole)*. Dipartimento Scienze geologiche Università Roma 3, Ufficio di protezione civile e Dipartimento protezione del suolo-APAT.
- FUNICIELLO R. & ROVELLI A. (1998) - *Terremoti e monumenti a Roma*. Le Scienze.
- GALLI P. & CAMASSI R. (2009) - *Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009*. Rapporto congiunto DPC-INGV, **12**.
- GALLI P., CAMASSI R., AZZARO R., BERNARDINI F., CASTENETTO S., MOLIN D., PERONACE E., ROSSI A., VECCHI M. & TERTULLIANI A. (2009) - *Il terremoto aquilano del 6 aprile 2009: Rilievo macrosismico, effetti di superficie ed implicazioni sismotettoniche*. Il Quaternario, **22** (2): 235-246.
- GALLI P., GIACCIO B. & MESSINA P. (2010) - *The 2009 central Italy earthquake seen through 0.5 Myr-long tectonic history of the L'Aquila faults system*. Quaternary Science Reviews, **29**: 3768-3789.
- INGV (2006) - *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale*. Available at http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html
- INGV (2009) - *Mappa sul risentimento macrosismico del terremoto del 6 aprile 2009*. <http://terremoto.rm.ingv.it>
- ITALO SOLERO (2001) - *Roma moderna. Un secolo di storia urbanistica (1870-1970)*. Piccola Biblioteca Einaudi.
- KARNER D.B. & RENNE P.R. (1998) - *40Ar/39Ar geochronology of Roman Volcanic Province Tephra in the Tiber River Valley: age calibration of Middle Pleistocene sea-level changes*. Am.Bull.Soc.Geol., **110**: 740-747.
- KARNER D.B., MARRA F. & RENNE P.R. (2000) - *The history of Monti Sabatini and Alban Hills volcanoes: groundwork for assessing volcanic-tectonic hazards for Rome*. J.Volcan.Geoth.Res.
- LAGOMARSINO S., PODESTÀ S., CIFANI G., LEMME A. (2004) - *The 31st October 2002 in Molise(Italy): a new methodology for the damage and seismic vulnerability survey of churches*. Proc. of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada, Paper **1366** (CD-Rom).
- MARRA F. & ROSA C. (1995) - *Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana*. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, **50**: 49-112.
- MARRA F., ROSA C., DE RITA D. & FUNICIELLO R. (1998) - *Stratigraphic and tectonic features of the Middle-Pleistocene sedimentary and volcanic deposits in the area of Rome (Italy)*. Quaternary International, **47/48**: 51-63.
- MICROZONAZIONE SISMICA DGR LAZIO n. **545** del 26/11/2010, Allegati I e II.
- MOLIN D. & GUIDOBONI E. (1989) - *Effetto fonti effetto monumenti a Roma: i terremoti dall'antichità ad oggi, "I terremoti prima del Mille in Italia e nell'Area Mediterranea"*, ING, a cura di E. Guidoboni, Bologna, 194-223.
- MOLIN D., CASTENETTO S., DI LORETO E., GUIDOBONI E., LIPERI L., NARCISI B., PACIELLO A., RIGUZZI F., ROSSI A., TERTULLIANI A. & TRANIA G. (1995) - *Caratteri della sismicità*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **5**: 391-403.
- PANZA G., ROMANELLI F., VACCARI F., DECANINI L. & MOLLAIOLI F. (2004) - *Seismic ground motion modelling and damage earthquake scenarios: a possible bridge*

- between seismologists and seismic engineers*. 23rd general assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Sapporo, Japan, 2003.
- PONDRELLI S., SALIMBENI S., MORELLI A., EKSTRÖM G., OLIVIERI M. & BOSCHI E. (2010) - *Seismic moment tensors of the April 2009, L'Aquila (Central Italy), earthquake sequence*. Geophysical Journal International, 180, Issue 1: 238-242.
- PRESTININZI A., PUGLIESE A. & R.W. ROMEO (2005) - *Proposed seismic classification of Italy and related actions*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 1/2005. DOI:10.4408/IJEGE.2005-01.O-04.
- ROVELLI A., CASERTA A., MALAGNINI L. & MARRA F. (1994) - *Assessment of potential strong ground motion in the city of Rome*. Annali di geofisica, 37 (6): 1745-1769.
- ROVELLI A., CASERTA A., MALAGNINI L. & MARRA F. (1995a) - *Previsione del moto del suolo e modellazione degli effetti locali*. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, 50: 415-432.
- ROVELLI A., CASERTA A., MALAGNINI L. & MARRA F. (1994) - *Assessment of potential strong motion in the city of Rome*. Annali di Geofisica, 37 (6) : 1745-1769.
- ROVELLI A., MOLIN D., MALAGNINI L. & MARRA F. (1995b) - *Variability of damage pattern in Rome: combination of source and local effects*. Riassunti della 5th Internat. Conf. on Seismic Zonation, AFPS-EERI, Nice, France, 2: 1359-1366.
- SARA ROSSI (1997) - *Roma. Strutture e dinamiche*. Universale di Architettura.
- VALENSISE G. (2009) - *Faglie attive e terremoti: Tempo di cambiare strategie*. Geotitalia, 28: 12-17.
- VANNUCCI G., PONDRELLI S., ARGNANI A., MORELLI A., GASPERINI P. & BOSCHI E. (2004) - *An Atlas of Mediterranean seismicity*. Ann. Geophys., 47 (1) : 247-302.
- VITTORI E., DI MANNA P., BLUMETTI A.M., COMERCI V., GUERRIERI L., ESPOSITO E., MICHETTI A.M., PORFIDO S., PICCARDI L., ROBERTS G.P., BERLUSCONI A., LIVIO F., SILEO G., WILKINSON M., McCAFFREY K.J.W., PHILLIPS R.J. & COWIE P.A. (2011) - *Surface Faulting of the 6 April 2009 M_w 6.3 L'Aquila Earthquake in Central Italy*. Bulletin of the Seismological Society of America, 101 (4): 1507-1530.

Received April 2011 - Accepted July 2011



Modified from "Carta Geologica del comune di Roma in scala 1:10.000 (18 tavole)" (FUNICIELLO & GIORDANO, 2008)



- Damage level**
- Low: Millimetre cracks, small - scale plaster detachments
 - Medium: Cracks in different parts of the building
 - High: Damage to pillars and other load - carrying structures, with involvement of floors and false ceilings
 - High concentration damage area
 - Boundary of the quarters considered for the "intervention Index" analysis

Geological Unit / System	Description
UNITA' UBICUARIE IMMIGRATAE UNITA'	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
UNITA' QUATERNARIE QUATERNARY UNITS	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
SISTEMA FIUME TEVERE (S1) FIUME TEVERE SYNTHESIS	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
SISTEMA TORINIO (T1) TORINIO SYNTHESIS	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
FORMAZIONE DI FONTANA CENTOGIOVE FONTANA CENTOGIOVE FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
POZZOLANE NERE POZZOLANE NERE FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
TURRI STRATIFICATI VASCOLORI DI LA STORIA TURRI STRATIFICATI VASCOLORI DI LA STORIA FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
TUFO ROSSO A SCORRE NERE BARATINO TUFO ROSSO A SCORRE NERE BARATINO FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
FORMAZIONE DI FOSSO DEL TORINIO FOSSO DEL TORINIO FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
LAIVE DI FOSSO TRE RARI LAIVE DI FOSSO TRE RARI FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
POZZOLANE ROSE POZZOLANE ROSE FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
LAIVE DI VALLENOVA LAIVE DI VALLENOVA FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
SISTEMA VILLA GIULIA (V1) VILLA GIULIA SYNTHESIS	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
TURRI STRATIFICATI VASCOLORI DI SACROFANO TURRI STRATIFICATI VASCOLORI DI SACROFANO FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
UNITA' DI CASALE DEL CAVALIERE CASALE DEL CAVALIERE UNIT	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
UNITA' DI PRIMA PORTA PRIMA PORTA UNIT	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
UNITA' DEL PALATINO PALATINO UNIT	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
FORMAZIONE DI VALLE GIULIA VALLE GIULIA FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
SISTEMA FLAMINIA (F1) FLAMINIA SYNTHESIS	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
UNITA' DELLA VIA TIBERINA VIA TIBERINA UNIT	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
UNITA' DI TOR DE' CENCI TOR DE' CENCI UNIT	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
FORMAZIONE DI CECILIA CECILIA FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
SISTEMA MAGLIANA (M1) MAGLIANA SYNTHESIS	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
FORMAZIONE DEL FOSSO DELLA CRESCENZA FOSSO DELLA CRESCENZA FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
FORMAZIONE DI PONTE GALERA (P1) PONTE GALERA FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
SISTEMA ACQUATRAVERSA SUPERSYNTHESIS (A1) ACQUATRAVERSA SUPERSYNTHESIS	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
FORMAZIONE DI MONTE DELLE PICHE MONTE DELLE PICHE FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
FORMAZIONE DI MONTE MARIO MONTE MARIO FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
FORMAZIONE DI MADONNA DEGLI ANGELOI MADONNA DEGLI ANGELOI FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).
FORMAZIONE DI CASTELPORCIANO CASTELPORCIANO FORMATION	Depositi di origine fluviale, lacustre, maremmana, conosciuti come: CLOCCHE, MONTESPACCATO, ecc. (vedi tavola 18).