

TERRITORIO DELLA RICERCA
SU INSEDIAMENTI E AMBIENTE
RIVISTA INTERNAZIONALE
DI CULTURA URBANISTICA

05



La città sicura

riflessioni
programmi ed
esperienze
progettuali



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI NAPOLI FEDERICO II
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE L.U.P.T.



Edizioni Scientifiche Italiane

**Centro Interdipartimentale
di Ricerca L.U.P.T (Laboratorio di
Urbanistica e Pianificazione Territoriale)**

Università degli Studi di Napoli Federico II



**Rivista Internazionale semestrale
di Cultura Urbanistica**

Direttore responsabile

Mario Coletta Università degli Studi di Napoli Federico II

Comitato scientifico

Robert-Max Antoni Seminaire Robert Auzelle Parigi (Francia)
Tuzin Baycan Levent Università Tecnica di Istanbul (Turchia)
Pierre Bernard Seminaire Robert Auzelle Parigi (Francia)
Roberto Busi Università degli Studi di Brescia
Maurizio Carta Università degli Studi di Palermo
Pietro Ciarlo Università degli Studi di Cagliari
Biagio Cillo Seconda Università degli Studi di Napoli
Giancarlo Consonni Politecnico di Milano
Enrico Costa Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria
Concetta Fallanca Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria
José Fariña Tojo ETSAM Universidad Politecnica de Madrid (Spagna)
Francesco Forte Università degli Studi di Napoli Federico II
Adriano Ghisetti Giavarina Università degli Studi di Chieti Pescara
Pierluigi Giordani Università degli Studi di Padova
Francesco Karrer Università degli Studi di Roma La Sapienza
Giuseppe Las Casas Università degli Studi della Basilicata
Giuliano N. Leone Università degli Studi di Palermo
Francesco Lo Piccolo Università degli Studi di Palermo
Oriol Nel·lo Colom Universitat Autònoma de Barcelona (Spagna)
Eugenio Ninios Atene (Grecia)
Rosario Pavia Università degli Studi di Chieti Pescara
Giorgio Piccinato Università degli Studi di Roma Tre
Daniele Pini Università di Ferrara
Piergiuseppe Pontrandolfi Università degli Studi della Basilicata
Amerigo Restucci Università Iuav di Venezia
Mosè Ricci Università degli Studi di Genova
Giulio G. Rizzo Università degli Studi di Firenze
Ciro Robotti Seconda Università degli Studi di Napoli
Jan Rosvall Università di Göteborg (Svezia)
Inés Sánchez de Madariaga ETSAM Universidad Politecnica de Madrid (Spagna)
Paula Santana Università di Coimbra (Portogallo)

Michael Schober Università di Freising (Germania)

Paolo Ventura Università degli Studi di Parma

Coordinamento editoriale

Raffaele Paciello

Comitato centrale di redazione

Antonio Acierno (Caporedattore)

Teresa Boccia e Giacinta Jalongo (coord. relazioni internazionali)

Biagio Cerchia, Maria Cerreta, Candida Cuturi, Tiziana Coletta, Pasquale De Toro, Gianluca Lanzi, Valeria Mauro, Angelo Mazza, Francesca Pirozzi, Mariarosaria Rosolia, Luigi Scarpa, Marilena Cantisani

Redattori sedi periferiche

Massimo Maria Brignoli (Milano), Michèle Pezzagno (Brescia), Gianluca Frediani (Ferrara), Michele Zazzi (Parma), Michele Ercolini (Firenze), Sergio Zevi e Saverio Santangelo (Roma), Matteo Di Venosa (Pescara), Antonio Ranauro e Gianpiero Coletta (Napoli), Remo Votta e Viviana Cappiello (Potenza), Domenico Passarelli (Reggio Calabria), Giulia Bonafede (Palermo), Francesco Manfredi Selvaggi (Campobasso), Maria Valeria Mininni (Bari), Elena Marchigiani (Trieste), Beatriz Fernández Águeda (Madrid), Josep Antoni Báguena Latorre (Barcellona)

Responsabili di settore Centro L.U.P.T.

Paride Caputi (Progettazione Urbanistica), Ernesto Cravero (Geologia), Amato Lamberti (Sociologia), Romano Lanini (Urbanistica), Giuseppe Luongo (Vulcanologia), Luigi Piemontese (Pianificazione Territoriale), Antonio Rapolla (Geosismica), Guglielmo Trupiano (Gestione Urbanistica), Giulio Zuccaro (Sicurezza del Territorio)

Responsabile amministrativo Centro L.U.P.T.

Maria Scognamiglio

Traduzioni

Sara Della Corte (spagnolo), Ingeborg Henneberg (tedesco), Valeria Sessa (francese), August Viglione (inglese)

Edizione

ESI Edizioni - Via Chiatamone, 7 - 80121 Napoli

Telefono +39.081.7645443 pbx - Fax +39.081.7646477

Email info@edizioniesi.it

Impaginazione e grafica

Zerouno | info@zerounomedia.it

Autorizzazione del Tribunale di Napoli N. 46 del 08.05.2008

Direttore responsabile Mario Coletta

La città sicura. riflessioni, programmi ed esperienze progettuali

Sommario

Editoriale

Per una città sicura, amica, aperta, libera e liberante. Verso quale città?

di Mario COLETTA

5

Interventi

Lo spazio dell'insicurezza e l'insicurezza dello spazio. Una riflessione.

di Pierluigi GIORDANI

31

El crimen: impactos sobre el planeamiento urbano y el ambiente

de P. SANTANA, R. SANTOS, C. COSTA, N. ROQUE, A. LOUREIRO

39

Aspetti geologici e geosismologici del terremoto de L'Aquila del 6 Aprile 2009 ed implicazioni sulle modalità di valutazione dell'hazard sismico in Italia

di A. RAPOLLA, S. DI NOCERA, F. MATANO, V. DI FIORE, V. PAOLETTI, E. RAPOLLA, D. TARALLO

49

L'Aquila: antico e nuovo a un anno dal terremoto

di Adriano GHISSETTI GIAVARINA

63

Sicurezza e crisi economica. Alcune considerazioni

di C. GIANNONE

69

Vivere e camminare in città: un riferimento disciplinare consolidato

di Roberto BUSI

81

La pianificazione degli spazi rurali nell'area metropolitana di Napoli: una sfida impossibile?

di Biagio CILLO

95

Le colombaie e le prime reti di comunicazione spaziali a difesa e sviluppo del territorio

di Ciro ROBOTTI

113

Urbanismo, seguridad pública y convivencia. Con referencia específica a la ciudad de Barcelona

de Juli PONCE

123

La Sicurezza del Territorio dai Disastri Naturali. La Regione Campania: un Territorio ad Alto Rischio. Gli Studi condotti al Centro PLINIVS e le tematiche aperte

di Giulio ZUCCARO, Francesco CACACE

137

Urbanistica securitaria: modelli, limiti e prospettive di ricerca

di Antonio ACIERNO

153

Saluto Arturo Rigillo

Arturo Rigillo o della "silenziosa operatività"

di Mario COLETTA

171

Rubriche

Aspetti geologici e geosismologici del terremoto de l'Aquila del 6 aprile 2009 ed implicazioni sulle modalità di valutazione dell'hazard sismico in Italia

di A. RAPOLLA, S. DI NOCERA, F. MATANO, V. DI FIORE, V. PAOLETTI, E. RAPOLLA, D. TARALLO

Partendo dal tragico caso del terremoto dell'Aquila viene qui discusso un aspetto fondamentale della corretta valutazione della Pericolosità (Hazard) di un Territorio e di uno specifico Sito Urbano, cioè la sottostima dell'effetto di amplificazione di sito in molte aree urbanizzate italiane, poste in valli o pianie alluvionali, legata ad una scarsa ed incompleta conoscenza dei parametri geo-sismici del sottosuolo locale.

Geological and geo-seismic aspects of the earthquake in L'Aquila of April 6th 2009 and its implications on the modalities of evaluation of seismic hazard in Italy

Starting with the tragic case of the earthquake in L'Aquila this paper discusses a fundamental aspect of the correct evaluation of the danger (hazard) of an area and of a specific urban site, that is, the underestimation of the amplifying effect of the sites in many developed Italian urban areas situated in valleys or alluvial plains along with a scarce or incomplete knowledge of the geoseismic parameters of the local underground area.

Aspects géologiques et géosismiques du territoire de l'Aquila du 6 avril 2009 et implication sur la modalité d'évaluation de l'hazard sismique en Italie

En partant du cas tragique du tremblement de terre de l'Aquila on discute ici d'un aspect fondamental de la correcte évaluation du Danger (Hazard) d'un Territoire et d'un Site Urbain spécifique, c'est à dire la sous-estime de l'effet d'amplification du site dans de nombreuses aires urbanisées italiennes situées dans des vallées ou plaines alluviales liées à une insuffisante et incomplète connaissance des paramètres géosismiques du sous-sol local.

Aspectos Geológicos y Geosísmicos del terremoto de l'Aquila del 6 de Abril 2009 e implicaciones sobre las modalidades de valoración del Hazard sísmico en Italia

Partiendo del trágico caso del terremoto de l'Aquila se discute aquí un aspecto fundamental en la valoración de la Peligrosidad (Hazard) en un Territorio y de un específico emplazamiento urbano, en concreto, la subestimación del efecto de la amplificación del emplazamiento en muchas áreas urbanizadas italianas, ubicadas en valles o llanuras de aluvión, unida a un escaso e incompleto conocimiento de los parámetros geosísmicos del subsuelo local.

terrestre

Geologische und geosismologische aspekte des erdbebens von l'aquila am 6 april 2009 und die konsequenzen auf die abschaetsungsweise der erdbebengefahr in italien

Ausgehend von dem tragischen Erdbeben in L'Aquila wird hier ein fundamentaler Aspekt der korrekten Abschätzung der Gefährlichkeit (Hazard) eines Territoriums und eines spezifischen Stadtzentrums besprochen. Das heisst, dass in vielen italienischen Staedten, die in Taelern oder Anschwemmungsebenen liegen, das Risiko der Stadtausdehnung unterschaezt wird. Dazu kommt oft noch eine unkomplette Kenntnis der geosismologischen Kriterien der lokalen Unterbodens.

Aspetti geologici e geosismologici del terremoto de L'Aquila del 6 Aprile 2009 ed implicazioni sulle modalità di valutazione dell'hazard sismico in Italia

di A. RAPOLLA^{1,3}, S. DI NOCERA¹, F. MATANO¹, V. DI FIORE², V. PAOLETTI¹, E. RAPOLLA³, D. TARALLO¹

La prevenzione del rischio sismico: vulnerabilità e hazard

Le recenti normative sul Rischio sismico (vedi l'OPCM 3274 del 2003, il DM "Norme Tecniche per le Costruzioni" del 2005 e le Norme Tecniche del Decreto Ministeriale del 14 Gennaio, 2008) pongono in modo molto più attento, anche se non ancora in modo esaustivo e completo, l'accento sull'importanza della valutazione della Pericolosità Sismica di un sito quale elemento indispensabile per la valutazione quantitativa del Rischio sismico. Solo dopo aver raggiunto tale conoscenza sarà possibile valutare correttamente la tipologia, le modalità delle azioni e le opere a carattere ingegneristico da intraprendere sia per una corretta pianificazione dell'uso del territorio in ambito comunale, sia per il necessario adeguamento e messa in sicurezza di edifici esistenti o la progettazione antisismica di nuovi edifici.

Il principale provvedimento normativo italiano sul problema del rischio sismico è nato con la legge n. 64 del 2 febbraio 1974 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche". In tale legge si prevedeva l'aggiornamento periodico della classificazione e delle norme tecniche costruttive in funzione di nuove conoscenze sulla genesi e sull'azione dinamica esercitata sulle strutture dall'azione sismica.

Recentemente, a seguito delle significative modifiche apportate, con particolare riferimento alle modalità attuative, dall'OPCM 3274 del 2003 il Bollettino n. 2 dell'Ordine Regionale dei Geologi pubblicava (Rapolla, 2004) un nuovo documento teso a omogeneizzare studi pregressi e definire metodologie ed indagini che i professionisti interessati e gli Organi Istituzionali competenti devono effettuare o valutare per rispettare le nuove disposizioni normative. La Regione Campania ha anch'essa seguito lo stesso orientamento con specifiche Linee Guida (Cascini et al. 2006).

E' in realtà purtroppo ancora ampiamente diffuso il concetto che **la Pericolosità Sismica**, necessaria con **la Vulnerabilità Sismica** a definire **il Rischio Sismico**, sia tutto sommato abbastanza compiutamente definita e modulata attraverso la **Classificazione sismica**. In effetti, la Pericolosità sismica può, ma solo in primissima istanza, essere espressa attraverso la definizione "una tantum" di un livello energetico unico e costante che il sisma mostrerebbe in tutto un territorio comunale e quindi anche nel sito considerato; livello energetico che dipende dall'energia del sisma alla sorgente (Magnitudo) e dalla distanza del sito dalla sorgente, attraverso le leggi di attenuazione. Pertanto, visto che la Classificazione sismica

1 Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Napoli Federico II, Largo S. Marcellino, 10 80138 Napoli e Centro InterUniversitario per i Grandi Rischi (CUGRI), sede di Napoli.

2 Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Calata Porta di Massa, 80133 Napoli.

3 Centro Interdipartimentale "Laboratorio Urbanistica e Pianificazione Territoriale (LUPT), Università degli Studi di Napoli Federico II.

viene fatta attribuendo ai Comuni nell'intorno di un'area sismogenetica un dato livello energetico del possibile sisma che, in un'ottica probabilistica, colpirà il territorio del Comune stesso, tale livello energetico viene molto semplicisticamente assunto per indicativo della Pericolosità sismica dei siti posti nel Comune stesso. Nella realtà il livello energetico del terremoto atteso in un territorio Comunale è solo indicativamente rappresentato dalla Classificazione, ed in ogni caso esso è riferito solo al caso in cui siano in affioramento terreni rigidi (caratterizzati cioè da un valore della velocità delle onde di taglio V_s maggiore di 800 m/s). Livelli ben maggiori possono invece essere raggiunti in determinato sito in dipendenza delle caratteristiche geosismologiche dei terreni non rigidi di copertura. La presenza di terreni non rigidi, infatti, non solo modifica il livello energetico del sisma atteso, ma, principalmente, ne può sensibilmente modificare lo spettro amplificando o attenuando alcune sue componenti, tanto da produrre azioni sismiche notevolmente differenti anche per siti posti a sole poche centinaia o decine di metri di distanza tra loro.

L'attenzione alle caratteristiche geolitologiche, geosismiche e geotecniche, sia a livello territoriale che a livello di sito, nasce dalla constatazione ormai ben nota che un deposito incoerente (che ha caratteristiche reologiche di tipo visco-elastico) poggiante su un basamento rigido, può modificare sostanzialmente la composizione spettrale ed il livello energetico dell'evento sismico determinando l'amplificazione di alcune sue frequenze. La definizione di tali amplificazioni è essenziale per valutare la pericolosità di un sito potendo essa essere di livello anche molto maggiore di quello relativo alle stesse differenziazioni energetiche legate alla Classificazione. Il Rischio per una struttura sottoposta ad uno stress sismico dipende, infatti, non solo dalla vulnerabilità propria della struttura edilizia, ma anche, e forse principalmente, dalla intensità delle componenti a varie frequenze contenute nel segnale sismico ed in particolare quello relativo alle onde S, che, emergendo in genere verticalmente, producono sollecitazioni orizzontali alle costruzioni. E' quindi necessaria, per valutare le modifiche dell'impulso sismico provocate dal terreno, una parametrizzazione geometrica, geolitologica, geosismica e geotecnica della successione stratigrafica presente nell'immediato sottosuolo dell'area interessata.

Possiamo pertanto ora definire con maggiore appropriatezza l'obiettivo che si prefigge uno studio di valutazione della Pericolosità sismica e cioè *“definire il livello energetico e le caratteristiche spettrali dell'evento sismico che colpirà quello specifico sito di costruzione”*.

Ovviamente uno studio teso a tale obiettivo non potrà essere svolto in un unico momento, né tanto meno può essere esteso a tutti i potenziali siti di costruzione. Esso dovrà invece essere svolto per gradi o fasi riferite ad areali via via più limitati e ciascuno caratterizzato da obiettivi sempre più specifici e puntuali.

Il risultato della prima Fase di studio sarà la definizione del livello energetico del sisma su materiale rigido (suoli di tipo A) presente nei territori comunali nell'intorno dell'area sismogenetica. E cioè la ben nota “Classificazione sismica”.

La seconda Fase del processo logico di definizione della Pericolosità sismica di un sito di costruzione si riferisce ad un areale più limitato e cioè proprio al Territorio Comunale per il quale, attraverso il processo di Classificazione precedentemente riportato, è stato definito un dato di livello di riferimento dell'azione sismica attesa. Tale livello, come detto, si riferisce

infatti solo ai siti ove eventualmente è in affioramento un terreno caratterizzato da un valore di V_s maggiore di 800 m/s.

Pertanto questa seconda Fase sarà rivolta alla definizione, nell'interno del territorio comunale, dei reali livelli dell'azione sismica che variano in funzione delle caratteristiche geosismologiche dei terreni in affioramento. Poiché tali variazioni delle caratteristiche geosismologiche possono anche essere molto frequenti, bisognerebbe sviluppare in tutti i siti potenzialmente sedi di costruzione studi di dettaglio attenti e costosi. Per ovviare a ciò si può prevedere una terza Fase in cui gli studi di dettaglio (studi specifici di Risposta sismica locale) verrebbero sviluppati solo nei siti che effettivamente saranno sedi di costruzioni o di adeguamento.

La seconda Fase, che indichiamo con il termine specifico di Microzonazione (s.s.), avrà come obiettivo la determinazione delle aree del territorio comunale con caratteristiche geolitologiche, geofisiche e geotecniche suscettibili di dare amplificazioni sismiche, oltre che l'individuazione delle eventuali aree del territorio comunale suscettibili di instabilità di versante e delle aree suscettibili di liquefazione: il risultato finale di tali studi sarà pertanto la Microzonazione del Comune con la attribuzione alle varie zone individuate di Fattori di Amplificazione Medi del livello energetico o del sisma atteso quale fissato dai precedenti studi di Classificazione sismica.

La Microzonazione dei territori Comunali trova il suo supporto normativo nel punto H.2 dei Criteri riportati nell'OPCM 3274 del 2003 che prevede che *"...a partire dall'elaborato di riferimento nazionale, la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche dovrà prevedere ... l'eventuale definizione di sottozone nell'ambito dello stesso Comune, differenziate anche in relazione alle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche di dettaglio"*.

Si individua cioè nella Microzonazione sismica lo strumento indispensabile per la corretta programmazione territoriale dei Comuni dichiarati sismici. In particolare, nella L.R. 9/83 della Regione Campania così come nelle norme di molte altre Regioni, oltre alla compilazione di carte geolitologiche e di stabilità, le indagini sono finalizzate alla compilazione della Carta della Zonazione del territorio comunale in Prospettiva Sismica. E cioè la suddivisione del territorio in zone omogenee per quanto riguarda il comportamento in prospettiva sismica. Il parametro di significatività fisica che caratterizza un volume di terreno e da cui direttamente dipende il tipo di risposta sismica del mezzo stesso è la Velocità delle onde sismiche trasversali. Si ribadisce che la Microzonazione è diretta a definire dei valori medi zona per zona, in quanto ha l'obiettivo di guidare nella programmazione dell'uso del territorio. La Microzonazione quindi non deve essere superficialmente utilizzata nella determinazione della Risposta sismica di uno specifico sito, che è invece assolutamente necessaria per l'adeguamento sismico di una costruzione o per progettarne una nuova ed è rimandata ad una successiva Fase di studio.

Attraverso la valutazione delle varie situazioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e principalmente geosismiche, dalle quali dipende la differente potenzialità di danno per un evento sismico si dovranno eseguire, quindi, una serie di indagini che permettano innanzitutto di individuare eventuali aree ove non può essere consentita l'edificabilità (a causa, ad esempio, di forte instabilità dei versanti, di potenzialità alta di liquefazione, di presenza di strutture tettoniche attive, ecc.) e, per tutte le altre aree, suddividere il territorio

comunale in aree a comportamento omogeneo dal punto di vista della Pericolosità sismica. La valutazione viene effettuata in modo da ottenere una carta tematica di sintesi o Carta della Microzonazione in prospettiva sismica. Essa, utilizzando parametri significativi e da acquisire sperimentalmente, può permettere di valutare a larga scala, nell'interno del territorio comunale, possibili fenomeni di amplificazione dell'accelerazione sismica ed individuare eventuali aree del territorio comunale che potrebbero essere vulnerabili per effetto dell'evento sismico atteso.

Si vuole qui sottolineare, infine, che allo scopo di attuare uno studio quanto più possibile completo del territorio comunale, deve essere effettuata anche una valutazione a carattere generale della pericolosità sismica per instabilità dei versanti in un territorio comunale (vedi Art. 11 e 12 della L.R. 9/83 e DPGR Campania 5447 del 7/11/2002). Le frane provocate dai terremoti sono, infatti, spesso causa di danni, anche ingenti, alle strutture situate in corrispondenza dei pendii. La valutazione dell'instabilità dei pendii è quindi uno dei compiti più importanti per una corretta valutazione della pericolosità sismica di un territorio (Rapolla et al., 2010a e 2010b)(vedi per i dettagli anche TC4, 1999).

La terza Fase prevede che nei siti di un territorio comunale ove sorge una costruzione che dovrà essere sismicamente adeguata o dove dovrà sorgere un'opera edilizia di qualsiasi genere, sia necessario procedere alla determinazione della Risposta sismica locale del sito stesso.

Oggi con le disposizioni più recenti si chiede al professionista di effettuare, per la definizione dell'azione sismica di progetto, uno studio apposito per valutare quantitativamente l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto sismico in superficie e, solo in mancanza di tale studio, di ricorrere alla definizione delle ben note Categorie di suolo presenti nell'area di sedime (OPCM 3274, 2003; British Standards Institution, 2004).

La richiesta di uno studio apposito e non già del semplice utilizzo delle Categorie di suolo, nasce dall'evidenza che nelle situazioni reali, la variabilità geometrica e delle caratteristiche geofisiche delle sequenze stratigrafiche incontrate nel sottosuolo più prossimo alla superficie topografica sono in genere tali da non consentire o rendere molto difficile e spesso irrealistica, la semplificazione insita nella scelta delle cinque categorie di suolo delle norme italiane ed europee.

Ad esempio, il comportamento in termini di risposta sismica di sequenze stratigrafiche aventi lo stesso valor medio del parametro V_{s30} , ma costituite da più termini litologici, può essere completamente diverso. E' ancora da aggiungere che in molti casi (ad esempio le aree caratterizzate dalla presenza di depositi alluvionali e/o deltizi o di terreni vulcanici, ecc.) (Bais et al., 2002) si possono riscontrare rapide variazioni laterali nella geometria dei depositi e nelle loro caratteristiche geosismologiche, tali che nella stessa area di sedime diviene difficile, se non impossibile, attribuire una data categoria di suolo ed immaginare modelli di terra con variazioni solo verticali, senza richiamare modelli di terra bi- o tri- dimensionali che tengano invece conto dell'eterogeneità riscontrata (Bruno et al., 1999; Rapolla et al., 2002). L'applicazione di tecniche di prospezione geofisica 2D di tipo tomografico permette una più precisa e dettagliata ricostruzione del sottosuolo e quindi il calcolo di spettri di risposta di sito nei vari punti del profilo, che si dimostrano significativamente differenti tra loro a causa

proprio dell'eterogeneità del sottosuolo (si veda a seguire l'esempio delle amplificazioni registrate a l'Aquila).

Descrizione dell'evento sismico dell'Aquila: epicentro, magnitudo, sequenza sismica, deformazioni del suolo, danni, inquadramento geologico e geosismologico regionale e locale

Alle 3:32 (01:32 - UTC) del 6 Aprile 2009, un terremoto di Magnitudo Richter ML = 5.8 (Magnitudo Momento Mw = 6.3) ha colpito il distretto dell'Aquilano, con area epicentrale posta pochi km a SO della città dell'Aquila e profondità ipocentrale pari a 8.8 km (<http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2009/us2009fcaf/>). Il terremoto è stato caratterizzato da un meccanismo di tipo estensionale, con piani di faglia orientati NW-SE e direzione di estensione NE-SW (anti-appenninica).

La zona è stata interessata da una sismicità frequente con caratteristiche di sciame sismico a partire dal mese di Gennaio 2009, con centinaia di scosse per la maggior parte di modesta entità. Tre queste però sono da segnalare: un evento di M 4.0 avvenuto il 30 marzo e due eventi di M 3.9 e 3.5, avvenuti il 5 Aprile, pochissime ore prima del sisma del 6 Aprile. Lo sciame sismico è poi proseguito con numerosi *aftershocks* nei mesi seguenti.

Il sisma ha provocato circa 300 morti, 1200 feriti e 40.000 evacuati. I danni provocati hanno portato a valutare un'Intensità massima nella scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) pari almeno a IX (http://portale.ingv.it/primo-piano/archivio-primo-piano/notizie-2009/terremoto-6-aprile/copy_of_la-sequenza-sismica-dell-aquilano-aprile-2009/view?set_language=it).

Un tale livello di intensità MCS corrisponde ad un impatto sugli edifici, in termini di massima accelerazione orizzontale al suolo (PGA) pari a 0,6 g e, di fatto, un'accelerazione di circa 0,6 g ed anche maggiore è stata misurata da stazioni accelerometriche poste nella vallata dell'Aquilano (<http://mceer.buffalo.edu/infoservice/disasters/ground-motion-summary.pdf>).

La dislocazione profonda che ha originato il terremoto di Mw 6.3 che ha colpito l'Abruzzo centrale il 6 aprile 2009 ha provocato un pattern di deformazione del suolo che è stato osservato dai satelliti RADARSAT, ENVISAT e COSMO-SkyMed e misurato grazie all'uso della tecnica DInSAR (Interferometria Differenziale SAR). L'interferogramma ENVISAT (Fig.1) mostra nove frange concentriche che individuano l'area di massimo spostamento tra L'Aquila e Fossa, dove il terreno si è spostato di circa 25 cm lungo la direzione di vista del satellite (LOS - *Line Of Sight*) in allontanamento da esso. Si sottolinea che ad ogni frangia dell'interferogramma, corrispondente ad un ciclo di colore, sono associati circa 28 mm di spostamento della superficie terrestre. Il risultato mostra le importanti deformazioni superficiali causate dal terremoto. I dati di satellite radar possono essere utilizzati come un altro strumento di analisi per la comprensione della dinamica del terremoto.

Nella figura 1 la linea gialla ad est di L'Aquila individua la posizione di un allineamento di fratture co-sismiche lungo ~4 km osservate sul campo. In tutti gli interferogrammi tale allineamento corrisponde ad una serie di frange differenziali orientate NW-SE, molto vicine tra loro tanto da raggiungere o superare il massimo gradiente di spostamento misurabile senza

che il segnale decorreli. Questi due elementi avvalorano l'ipotesi che la dislocazione abbia raggiunto la superficie lungo questa linea (o comunque sia molto prossima ad essa).

Nell'interferogramma ENVISAT di Fig. 1, a NE delle fratture in superficie osserviamo circa 3 frange che indicano che il suolo si è mosso di circa 8 cm LOS in avvicinamento al satellite. Il campo di spostamento osservato è in ottimo accordo con il meccanismo di sorgente sismica, a conferma che il sisma è stato generato da una faglia normale con strike 144° e *dip* verso SO. La misura degli spostamenti interferometrici indica che lo slip ha raggiunto un massimo di ~90 cm concentrato al centro del piano di faglia.

La regione interessata dal sisma del 6 aprile 2009 si colloca nell'Appennino centrale (Fig. 2), nel distretto dell'Aquilano in Abruzzo. Il territorio della regione abruzzese si articola in una fascia collinare e pianeggiante costiera adriatica ed in un settore interno montuoso appenninico, in cui si distinguono numerose dorsali ad andamento appenninico (NNW-SSE) e sovente arcuate, quali quelle del Velino-Sirente, della Marsica, del Gran Sasso, del M. Morrone e della Maiella. In tale settore sono presenti numerose depressioni tettoniche quaternarie, quali la piana del Fucino, la piana di Avezzano e Sulmona e la conca dell'Aquilano. L'Appennino abruzzese fa parte di un sistema orogenico derivato dall'evoluzione, prevalentemente neogenica, di un sistema catena-avanfossa-avampaese, con la deformazione di domini paleogeografici mesozoici di piattaforma carbonatica e di soglia e di bacino pelagico ed il successivo sollevamento differenziale delle unità tettoniche individuatesi.

In Figura 3 sono riportate le geometrie di numerose faglie dell'Appennino centrale (Galadini e Galli, 2000) ad attività riferibile al Pleistocene superiore - Olocene, in base all'identificazione di dislocazioni di depositi e/o forme, relativi all'intervallo temporale di cui sopra. Le faglie vanno considerate come strutture attive primarie, responsabili di terremoti di $M \geq 6.5$. In Figura 3 sono inoltre mostrati i rapporti tra la sismicità attuale e le sopradette faglie. In prima analisi è possibile individuare un allineamento degli epicentri secondo la direzione appenninica, corrispondente ai lineamenti tettonici tardo-quaternari che delimitano la Conca Aquilana.

Come si è visto, l'area dell'Aquilano e in genere la regione abruzzese sono state sede in passato di forti terremoti. In particolare, l'attività del Marzo-Aprile 2009 si colloca tra la terminazione meridionale della faglia che si è attivata nel terremoto del 1703 (Intensità MCS del X grado MCS, pari a Magnitudo Richter di circa 6.7) e i limiti settentrionali della faglia associata al terremoto del 1349 (immediatamente al di fuori dei limiti sud occidentali della regione Abruzzo).

La città dell'Aquila si sviluppa in un settore di conca intermontana, che si presenta morfologicamente articolato ed orientato a grossa scala NW-SE, compreso tra la dorsale del Monte Velino a sud e la dorsale del Monte Pettino a nord, che si ricollega all'arco del Gran Sasso. Questi rilievi sono costituiti da successioni carbonatiche e calcareo-marnose

Figura 1. Interferogramma ENVISAT calcolato a partire da una coppia di immagini 1 Febbraio 2009 – 12 Aprile 2009. Le frange definiscono il campo di spostamento (quasi verticale) indotto dal terremoto. Il Massimo abbassamento è di circa 25 cm tra L'Aquila e Fossa (ogni frangia corrisponde a circa 2.5 cm). I quadratini verdi indicano il mainslock (identificato anche dal meccanismo focale fornito da INGV-BO) e gli aftershocks con $M_w > 5$; la linea gialla indica le fratture superficiali osservate; i triangoli marcano la posizione dei caposaldi GPS utilizzati per il confronto con il SAR. Il rettangolo nero mostra la proiezione in superficie del modello di faglia ottenuto a partire dai dati SAR.

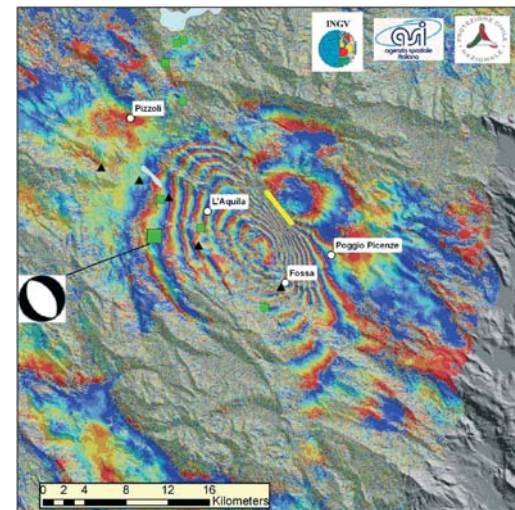


Figura 2. Schema geologico dell'Appennino centrale (stralcio della carta geologica d'Italia in scala 1:1.250.000 dell'APAT, 2004); in riquadro l'area interessata dal sisma.

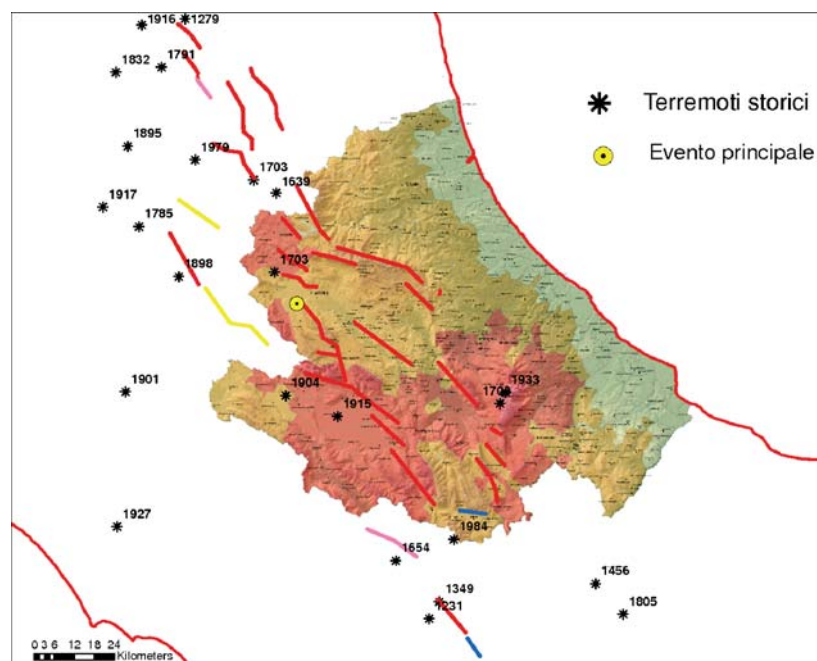


Figura 3. Schema delle faglie attive (rappresentate da linee) nel Pleistocene Superiore-Olocene in Centro Italia. In colore le tre Zone della Classificazione Sismica in Abruzzo, vedi Fig. 4. Sono inoltre riportati gli epicentri dei principali terremoti storici e quello principale del terremoto del 6 Aprile 2009 nell'Aquilano.

con subordinate alternanze arenaceo-pelitiche, mentre nel fondovalle si riconoscono depositi clastici detritico-alluvionali recenti.

In particolare, gran parte dell'area del capoluogo si sviluppa nel fondovalle in sinistra idrografica del corso del fiume Aterno. Nel foglio geologico in scala 1:50.000 n°359 "L'Aquila" del Progetto CARG sono riportati, con riferimento all'area urbana, depositi continentali di età compresa tra il Pliocene ed il Pleistocene inferiore - Olocene, suddivisi in varie unità a limiti inconformi (Sintemi). Tali unità sono formate da depositi alluvionali prevalentemente ciottoloso-sabbiosi alternati a depositi detritici di versante, anche molto grossolani, con intercalazioni di depositi lacustri sabbioso-siltosi a composizione prevalentemente carbonatica, depositi palustri siltosi e argillosi, depositi di tipo diamicton di origine glaciale, depositi eluvio-colluviali e depositi di frana.

La Normativa Anti-sismica Italiana e la Pericolosità Sismica dell'Aquilano

Uno dei principali aspetti che emergono dall'analisi dei dati relativi ai danni subiti dagli edifici e dai dati delle stazioni accelerometriche dell'Aquilano è una sottostima dell'azione sismica che ha interessato il territorio, classificato zona 2 con intensità sismica prevista di solo 0.25 g. Un aspetto cruciale risiede proprio nell'inadeguata e troppo semplificativa valutazione dei fattori di amplificazione sismica di sito del territorio, così come definiti dalle normative anti-sismiche sia precedenti che vigenti (risalenti al 1974 e 2003, rispettivamente). Come già precedentemente accennato, un'efficace prevenzione del rischio sismico è basata su una appropriata definizione delle caratteristiche del segnale sismico che caratterizzerà uno specifico sito. Tale segnale può differire da sito a sito per effetto delle diverse caratteristiche geologiche e geosismiche e della diversa geometria della stratigrafia più superficiale del sito. Queste caratteristiche definiscono una funzione di trasferimento che amplifica localmente il livello di ampiezza del segnale (fenomeno noto come "effetto di sito").

Le leggi antisismiche del 1974 erano basate su valutazioni del rischio effettuate direttamente a partire dall'azione sismica (*ag*) prevista per il massimo terremoto atteso (MLP, 1974). Il territorio di ogni comune italiano fu inserito in una delle seguenti tre classi di accelerazione massima orizzontale su basamento rigido (con velocità delle onde di taglio $V_s > 800$ m/s): 0.04 g, 0.07 g e 0.1 g. Per poter poi tenere conto della presenza in affioramento di suoli con valori di V_s inferiori, la normativa prevedeva un incremento locale della massima accelerazione orizzontale di sito di un valore fino a 1.3, incremento da modulare sulla base di un parametro generico, la "compattazione del suolo".

Le nuove leggi antisismiche (OPCM 3274, 2003 e segg.; Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008) sono basate sui risultati di nuovi studi geologici e geofisici molto più precauzionali rispetto alle precedenti. Esse infatti prevedono, per le tre classi di azione sismica sopracitate,

valori di accelerazione massima su suolo rigido più alti e pari rispettivamente a: 0.15 g, 0.25 g e 0.35 g. In Figura 4 sono riportati i valori di accelerazione previsti dal Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008 per l'Abruzzo per un periodo di ritorno di 475 anni. In particolare, il decreto del 2008 prevede una variazione graduale e continua dei valori di accelerazione nei territori. Come vediamo in Fig. 4, nella fascia centrale della Regione i valori di accelerazione massima sul rigido previsti si aggirano intorno a 0.25 g, con un massimo di circa 0.265 g. Tali valori sono stati nella figura sovrapposti alle zone sismiche previste per i diversi comuni abruzzesi dalla sopracitata ordinanza e dalle varie Delibere Regionali. Per quanto riguarda l'area della città de L'Aquila, essa ricade nella Zona 2 e la normativa prevede per essa un massimo valore di PGA di 0.261 g.

Le nuove leggi hanno evidenziato l'importanza di una conoscenza accurata delle proprietà geotecniche e geosismiche delle formazioni stratigrafiche più superficiali ai fini di una corretta stima della risposta sismica di sito. Queste proprietà sono infatti riconosciute come la causa delle modificazioni dell'azione sismica locale, sia per quanto riguarda le caratteristiche spettrali che per quanto riguarda l'intensità massima del segnale.

Per quanto riguarda le modifiche dell'azione sismica, le nuove normative suggeriscono l'uso di un parametro più adatto rispetto alla sopracitata "compattazione", per classificare un suolo in una delle schematiche Categorie di Suolo previste dall'OPCM 3274 (2003) (o Tipi di Terreno previsti dal British Standards Institution (2004)). Questo parametro è la velocità delle onde sismiche di taglio dei primi 30 m di terreno (V_{s30}). Nonostante questo miglioramento legislativo, il fattore di amplificazione previsto dalle nuove normative risulta però al massimo pari a 1.35.

Di fatto, questo valore, nonché la semplificazione del sottosuolo nelle schematiche classi di terreno previste dalla normativa, non sono sufficienti a valutare i reali fattori di amplificazione geosismici di un sito. Infatti, immettendo i reali - spesso complessi ed eterogenei - parametri geometrici, geotecnici e geosismici (Bais et al., 2003) come *input* per un calcolo numerico accurato dell'azione sismica in superficie (attraverso, e.g., QUAD-4 (Idriss et al., 1973)), sarebbe stato possibile ipotizzare variazioni spettrali e ampiezze massime del segnale sismico notevolmente più significative rispetto a quanto previsto dalla normativa, cosa che nella realtà è avvenuta. In Fig. 5 è riportato appunto il valore, sperimentalmente misurato, del rapporto tra l'amplificazione massima da noi registrata nei siti S2, S3, S4 ed S5, caratterizzati dalla presenza di materiali non rigidi (Fig. 6), rispetto a quanto registrato sulla stazione sismica posta invece su basamento rigido

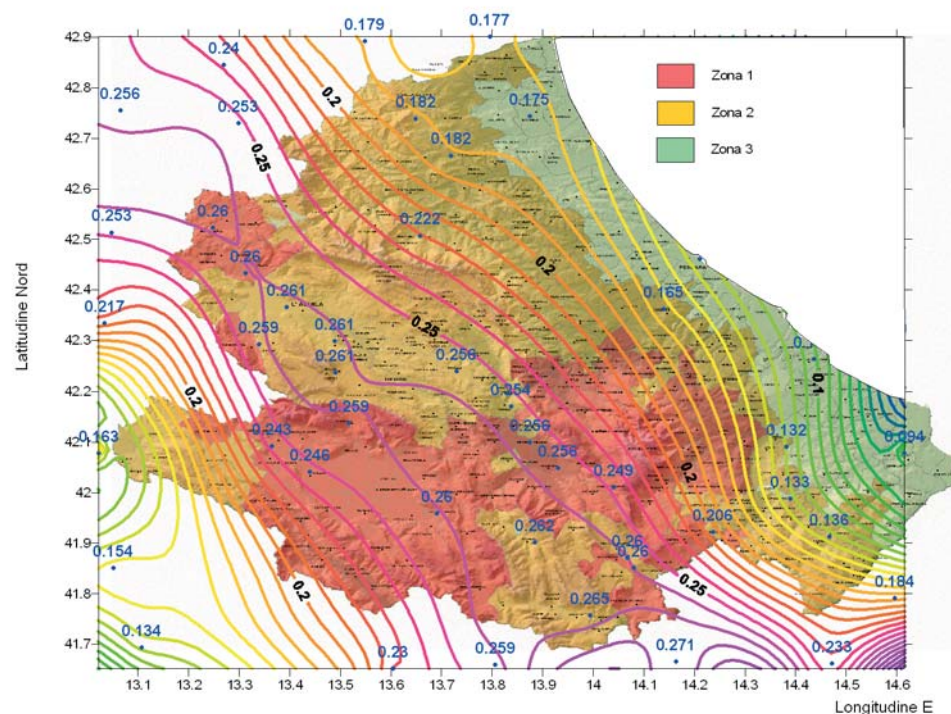


Figura 4. Valori di accelerazione massima orizzontale (ag/g) dell'Abruzzo riferiti a suoli rigidi previsti per un periodo di ritorno di 475 anni (Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008, www.cslp.it) sovrapposti alle zone sismiche della regione previste dall'OPCM 3274 (2003) e dalle varie Delibere Regionali.

(S1), in vari terremoti successivi alla scossa principale ed aventi magnitudo da circa 2.0 a circa 3.5. Come può notarsi l'effetto di amplificazione dovuto ai siti posti su terreni non rigidi è molto forte, raggiungendo quattro volte e più rispetto a quanto misurato sul rigido,

ed inoltre esso è in chiara dipendenza dalla magnitudo dell'evento stesso.

L'insegnamento del terremoto de l'Aquila nella valutazione degli effetti sismici di sito

Nella maggior parte delle aree abitate colpite dal sisma de l'Aquila del 2009 (piane e valli) la complessità degli strati di fondazione rende difficile classificarli in poche e schematiche Categorie di Suolo, oltretutto di natura monodimensionale. Ogni qual volta sia infatti presente del suolo (terreni sciolti) posto al di sopra del basamento rigido, i fattori di amplificazione dell'azione sismica calcolati sulla base dei reali parametri geosismici e geometrici del sito

possono di gran lunga superare quelli relativi alle Categorie di Suolo previste dall'OPCM 3274 (2003) o ai Tipi di Terreno riportati dal British Standards Institution (2004).

Nel caso della valle de l'Aquila si è visto come il risultato di un accurato calcolo della reale azione sismica alla superficie risulta molto più vicino, rispetto a quanto calcolabile attraverso l'applicazione delle leggi correnti, ai valori di PGA effettivamente misurati da stazioni accelerometriche poste nelle zone vallive. Queste stazioni hanno infatti misurato un valore di PGA pari o superiore a circa 0.6 g, in accordo anche con l'intensità MCS osservata (IX), mentre la normativa prevede per l'area un valore di PGA che al massimo può raggiungere 0.352 g (ottenibile moltiplicando il valore previsto di 0.261 g relativo a basamento rigido in quella zona per il massimo fattore di amplificazione previsto dalla normativa). E, come sopra accennato, il livello di picco di molti forti eventi sismici successivi al principale in diversi siti ove erano in affioramento terreni sciolti ha raggiunto invece valori di amplificazione, rispetto ai siti vicini ove invece era presente in affioramento materiale rigido, anche del 400 % e più (Di Fiore et al., 2009).

Lo studio ha quindi evidenziato l'influenza determinante di fenomeni di amplificazione delle onde S legati alla presenza dei materiali non rigidi che caratterizzano le vallate dell'Aquilano, sottolineando l'importanza di una corretta valutazione degli effetti di sito ai fini di un'efficace prevenzione dei danni (Rapolla et al., 2009).

La discrepanza tra l'azione sismica prevista dalle leggi correnti ed i valori di PGA misurati effettivamente nella valle de l'Aquila suggerisce come le normative non siano sufficientemente precauzionali da garantire un'effettiva mitigazione del rischio, laddove suoli con V_s30 inferiore agli 800 m/s formino gli strati di fondazione, come nel caso di molte aree dell'Aquilano. Molta più attenzione dovrebbe quindi essere riposta nella valutazione della effettiva risposta sismica di sito, da effettuarsi sulla base dei fattori geosismici locali sperimentalmente determinati.

Il terremoto de l'Aquila del 2009 ha dimostrato come un evento di ML 5.8 possa causare un significativo numero di vittime e danni anche in un paese Europeo avanzato. Una più completa discussione sui diversi fattori che hanno causato la tragedia non è l'obiettivo di questo lavoro. Una tale questione comprende infatti la combinazione di diverse cause concomitanti, che includono oltre all'inadeguata conoscenza del fattore locale di

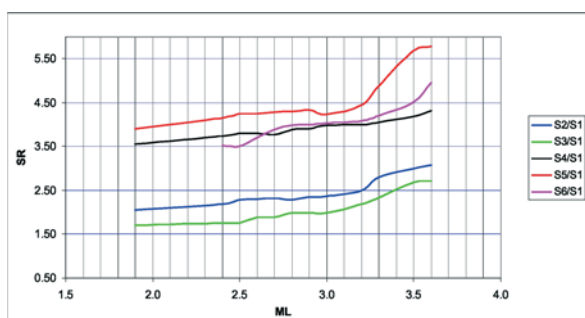


Figura 5. Relazione tra SR (valore massimo della funzione di amplificazione sismica nei siti S2 - S6 rispetto al sito rigido S1) e la ML (da Di Fiore et al., 2009)



Figura 6. Localizzazione dei siti di ubicazione di Stazioni sismiche tricomponenti lungo un profilo circa N-S a l'Aquila. S1: Suolo Rigido (Calcari Miocenici); S2, S3, S4, S6: Sabbie, sabbie limose e limi del Pliocene-Pleistocene Inferiore; S5: Alluvioni, sabbie, limi e ciottoli dell'Olocene.

amplificazione sismica, le complesse caratteristiche geo-strutturali e morfologiche dell'area, l'età degli edifici colpiti (molti edifici crollati erano stati costruiti quando non vi erano leggi anti-sismiche o seguendo le vecchie normative) e l'eventuale adeguamento degli edifici alle normative precedenti ed attuali.

Ringraziamenti

Questo lavoro è parte del Progetto di Ricerca PRIN 2007, "Valutazione, su basi geofisiche e geologiche, della suscettibilità del territorio alla franosità indotta da eventi estremi e relativa zonizzazione" (Progetto n. 2007LE8ZC5_003. Resp. Scient. A.R.).

Bibliografia

- Bais G., Bruno P.P.G., Di Fiore V., Rapolla A. (2003), *Characterization of shallow volcanoclastic deposits by turning ray seismic tomography: An application to the Naples urban area*, J. Appl. Geoph., 52, 11-21.
- Bruno P.P., Di Fiore V., Rapolla A., Roberti N. (1999), *Influence of geometrical and geophysical parameters on the seismic site amplification factor*. Europ. Jour. of Envir. and Eng. Geoph., 4, 51-70.
- British Standards Institution (2004), Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance: General rules, seismic actions and rules for buildings*, BS EN 1998-1:2004, London.
- Cascini L., Cosenza E., Gasparini P., Palazzo B., Rapolla A., Vinale F. (2006), *Linee Guida finalizzate alla mitigazione del rischio sismico. Indagini ed analisi geologiche, geofisiche e geotecniche*. Boll. Uff. Regione Campania, 61 pp.
- Di Fiore V., Rapolla A., Angelino A., Buonocunto F.P., Iavarone M., Scotto di Vettimo P., Tarallo D. (2009), *Evaluation of the seismic site effects in Pianola, L'Aquila, Italy, induced by the aftershock related to the earthquake on april 6, 2009 at 01:32:39 GMT*. Geoitalia 2009, VII Forum Italiano di Scienze della Terra, Rimini, Italy, 9-11 Settembre 2009.
- Elter P., Grasso M., Parotto M., Vezzani L. (2003), *Structural setting of the Apennine-Maghrebian thrust belt*, Episodes, 26, 205-211.
- Galadini F., Galli P. (2000), *Active tectonics in the central Apennines (Italy): Input data for seismic hazard assessment*, Nat. Haz., 22, 225-270.
- Gasperini P., Camassi R., Mirto C., Stucchi M. (2004), *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, versione 2004 (CPTI04), Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol. (INGV), Bologna, Italy. (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>)
- Idriss, I., Lysmer J., Hwang R., Seed H. (1973), *Quad-4: A computer program for evaluating the seismic response of soil structures by variable damping finite element procedures*, Rep. EERC 73-16, Univ. of Calif., Berkeley.
- MLP - Ministero LL.PP. (1974), *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*, Legge 2 Febbraio 1974, n. 64.
- OPCM 3274 - Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 Marzo 2003 (2003), *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*, S. O.

“Gazzetta Ufficiale” n. 105 dell’8 Maggio 2003 - Serie Generale. Ministero della Giustizia, Roma, 285 pp.

- Patacca E., Scandone P., Di Luzio E., Cavinato G.P., Parotto M. (2008), *Structural architecture of the central Apennines: Interpretation of the CROP 11 seismic profile from the Adriatic coast to the orographic divide*, Tectonics, 27, TC3006, doi:10.1029/2005TC001917.
- Rapolla A, Bais G., Bruno P.P., Di Fiore V. (2002), *Earth modelling and estimation of the local seismic ground motion due to site geology in complex volcanoclastic areas*, Annals of Geophysics, v. 45, n.6, 779-790.
- Rapolla A. (2004), *La pericolosità sismica*. Geologi, Bollettino Trimestrale dell’Ordine dei Geologi della Regione Campania, Speciale ‘Procedure per la Valutazione delle Pericolosità Sismica, n. 2, 4-23.
- Rapolla A., Di Fiore V., Di Nocera S., Matano F., Paoletti V., Tarallo D. (2009), *The April 2009 Abruzzi, Italy, Earthquake: Impact on Site Seismic Hazard Estimation*, EOS, American. Geoph. Union, Vol. 90, No. 45, 410-411.
- Rapolla A., Paoletti V., Secomandi M. (2010a), *Seismically-induced landslide susceptibility evaluation: application of a new procedure to the island of Ischia, Campania Region, Southern Italy*, Engineering Geology, Elsevier, in stampa.
- Rapolla A., S. Di Nocera S., Matano F., Paoletti V., Tarallo D. (2010b), *Regional zonation on seismic-induced landslide susceptibility: application of a new procedure to Campania, Southern Italy*, Natural Hazards, in stampa.
- TC4 (1999), *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards*, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Japanese Geotechnical Society, 210 pp.

