



# Etruria *natura*

*una finestra sul territorio*

Periodico dell'Accademia dei Fisiocritici, Siena  
Anno XI - 2015/2016



## Terremoti avvenuti in Appennino centrale nel periodo Agosto-Ottobre 2016: un chiaro esempio di come le attuali carte di pericolosità sismica sottovalutano il problema

Enzo Mantovani<sup>1</sup>, Marcello Viti<sup>1</sup>, Daniele Babucci<sup>1</sup>, Caterina Tamburelli<sup>1</sup>, Nicola Cenni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Via Laterina 8, 53100 Siena.

<sup>2</sup> Università di Bologna, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Viale Berti Pichat 8, 40127 Bologna.

Le attuali carte di pericolosità in Italia sono basate sullo studio della sismicità passata condotto con metodologie statistiche (Cornell, 1968; McGuire, 1978). In vari articoli (si vedano, ad esempio, Viti *et al.*, 2009 e Mantovani *et al.*, 2012, 2013, 2014a, 2014b), il gruppo di ricerca geofisica che fa capo al Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente (DSFTA) dell'Università di Siena ha sottolineato che i risultati ottenuti da tale tipo di approccio possono portare a significative sottovalutazioni della pericolosità.

Il caso più clamoroso è fornito dalle mappe di pericolosità delle regioni Umbria e Marche (Fig.1), le quali prevedono per una larga parte del territorio una probabilità molto bassa (<10%) che nei prossimi 50 anni si verifichino scosse con un'intensità superiore al valore VIII della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). Questa previsione, infatti, sembra poco realistica dato che le due regioni - come mostrato in figura 1 - sono state colpite in passato da numerose scosse con intensità IX, X e anche XI della scala MCS.

Non è facile capire come l'uso di algoritmi statistici, per quanto sofisticati (PSHA, Gomez Capera *et al.*, 2010; Stucchi *et al.*, 2011), consenta di escludere che eventi accaduti molte volte in passato si possano ripetere nei prossimi 50 anni. Questo dubbio si rinforza se si considera che le assunzioni adottate dalle metodologie statistiche non sono compatibili con la natura dei terremoti (Mantovani *et al.*, 2012, 2013, 2014a,b). A questo riguardo, la letteratura riporta i pronunciamenti di numerosi esperti che evidenziano gravi incongruenze nel metodo probabilistico

utilizzato per elaborare le attuali carte di pericolosità sismica (si vedano, ad esempio: Mulargia & Geller (eds.), 2003; Stein *et al.*, 2012; Rugarli, 2014; Geller *et al.*, 2015; Panza & Peresan, 2016).

La possibilità che le carte vigenti possano comportare gravi sottovalutazioni della pericolosità sismica è già stata presa in considerazione dalla

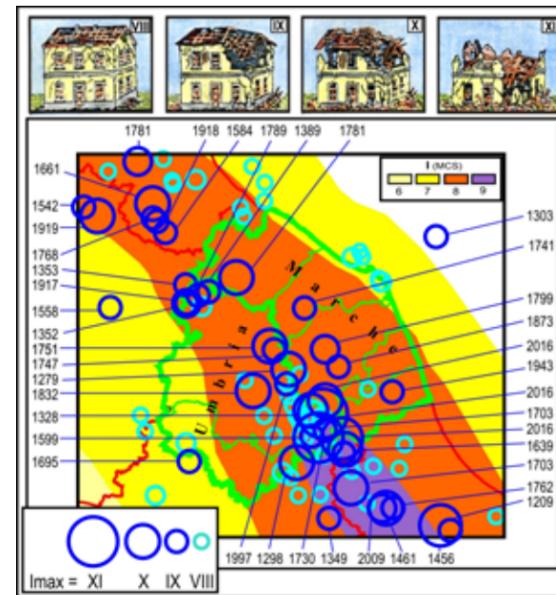


Fig. 1 - Distribuzione delle intensità massime (Imax) previste dalla carta ottenuta con la stessa procedura probabilistica usata attualmente per le stime ufficiali di pericolosità sismica in Italia (PSHA, Gomez Capera *et al.*, 2010). Ogni colore è associato al valore dell'intensità (espresso come grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg, MCS) che si ritiene abbia una probabilità inferiore al 10% di essere superata nei prossimi 50 anni. I cerchi indicano i principali terremoti avvenuti dall'anno 1000. L'anno di occorrenza è indicato solo per le scosse con Intensità <sup>3</sup> IX. In alto sono indicati i danneggiamenti riscontrabili in un edificio di buona costruzione per gradi di intensità superiori a VII.

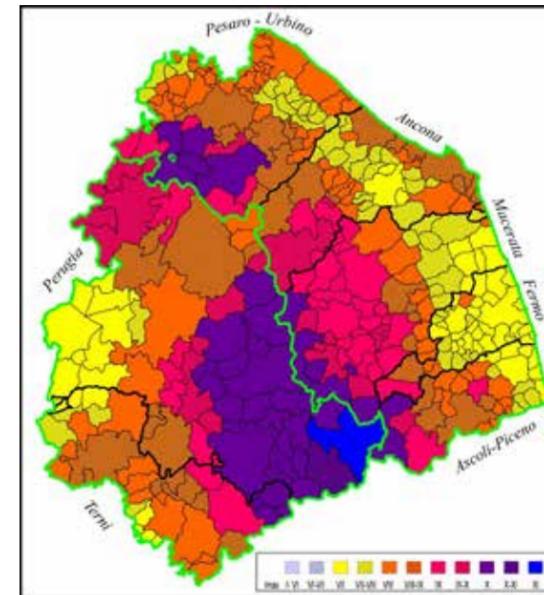


Fig. 2 - Carta delle intensità massime attese per ogni comune delle Marche e dell'Umbria (Mantovani *et al.*, 2014b). I colori corrispondono a valori di Imax nella scala MCS, come indicato in fondo alla figura.

Regione Toscana e dalla Regione dell'Emilia-Romagna, le quali, di conseguenza, hanno opportunamente promosso indagini per l'acquisizione di stime più realistiche da parte del nostro gruppo di ricerca (DSFTA dell'Università di Siena). I risultati ottenuti sono stati descritti in alcune estese ed articolate pubblicazioni (Mantovani *et al.*, 2012, 2013). Le analisi svolte sono partite dal presupposto che se una zona ha subito scosse di una certa intensità è opportuno considerare la possibilità che tali scosse si ripetano in qualsiasi momento. Questo implica che le caratteristiche degli edifici nuovi e del patrimonio edilizio esistente devono essere per lo meno adeguate agli scuotimenti subiti in passato.

Gli importanti risultati ottenuti per Toscana ed Emilia-Romagna hanno suggerito di estendere all'Umbria e alle Marche la medesima metodologia. La carta finale risultante da questo studio (Mantovani *et al.*, 2014b) è mostrata nella figura 2.

Il merito principale di questa carta è quello di fornire un'informazione attendibile sui danni attesi in ogni comune, ricavata da un'analisi non fuorviante della storia sismica (Tab. 1) e delle conoscenze disponibili sull'assetto tettonico.

Al contrario, la carta di pericolosità attualmente in vigore (Fig.1), essendo basata su procedure probabilistiche, offre un quadro ipotetico non fedele ai dati originali e fortemente condizionato dalla convinzione arbitraria che si possa valutare la probabilità delle scosse future. Il risultato finale di tale procedura prevede che per molti comuni delle due regioni le intensità previste con alta probabilità sono sensibilmente più basse di quelle avvenute ripetutamente in passato. Per cui sembra molto imprudente impostare la politica di difesa dai terremoti su una previsione così ottimistica e poco realistica. Questa preoccupazione ha dimostrato la sua fondatezza per quanto è successo nell'Appennino centrale nel periodo Agosto-Ottobre del 2016, in seguito a scosse che hanno raggiunto intensità di X e X-XI (Galli *et al.*, 2016). Tali livelli di intensità macrosismica sono in accordo con i valori previsti dalle carte di pericolosità elaborate da Mantovani *et al.* (2014b), che suggeriscono un'intensità massima pari ad XI MCS per il comune di Norcia e X per i comuni di Arquata del Tronto, Castelsantangelo sul Nera, Preci e Visso.

Un'ulteriore, importante informazione su questo aspetto è fornita dai dati acquisiti dalla rete accelerometrica gestita dal Dipartimento della Protezione Civile (DPC), che mettono in evidenza una cospicua differenza tra i livelli di scuotimento del terreno previsti dalle carte ufficiali e quelli osservati. In particolare, i dati disponibili (ReLUI-INGV Workgroup, 2016) mostrano che le stazioni accelerometriche di Norcia, Arquata del Tronto, Campi e Forca Canapine, distanti meno di 15 km dall'epicentro delle scosse del 24 Agosto (M=6), 26 Ottobre (M=5.9) e 30 Ottobre (M=6.5), hanno registrato accelerazioni orizzontali massime del terreno (Peak Ground Acceleration o PGA) pari rispettivamente a 0.38g, 0.46g, 0.65g ed 1g, dove g è l'accelerazione di gravità. Tali valori sono sino a 3 volte maggiori della PGA attribuita a quella zona con la valutazione probabilistica della pericolosità sismica (tra 0.275g e 0.300g).

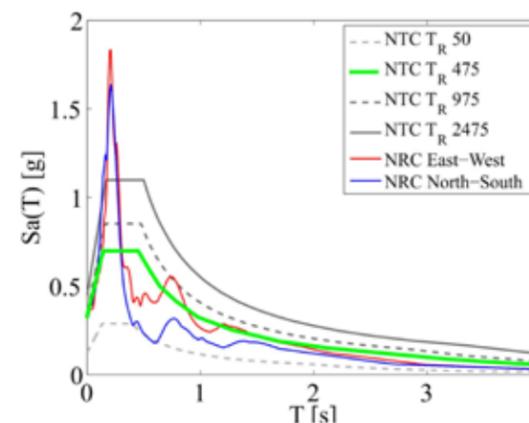
La discrepanza è ancora più accentuata se si considerano gli spettri di risposta elastici, i quali definiscono le accelerazioni subite dagli edifici in relazione al loro periodo naturale di oscillazione. Tale parametro dipende dalla configurazione strutturale del manu-

**Tabella 1 - Elenco dei principali terremoti ( $M > 5.5$  o  $I > VIII$ ) avvenuti dall'anno 1000 in Umbria e Marche.  $M$ =Magnitudo,  $I_{max}$ =Intensità massima (MCS). Dati presi da Rovida et alii. (2015) e da <http://www.ingv.it> per eventi recenti.**

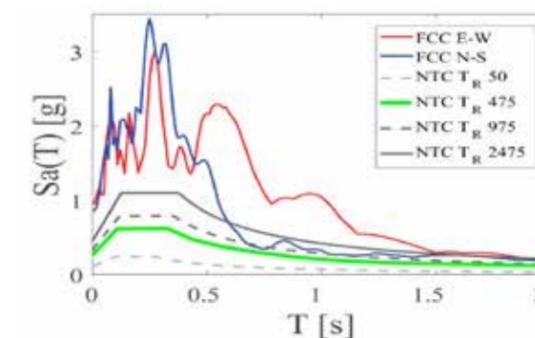
Anno	Zona epicentrale	M	$I_{max}$	Vittime	Anno	Zona epicentrale	M	$I_{max}$	Vittime
1276	Orvietano	5.6	VIII-IX	numerose	1781	Cagiese	6.4	X	300
1279	Camerino	6.3	X	moltissime	1785	Umbria meridionale	5.7	VIII-IX	alcuni
1298	Reatino	6.2	X	centinaia	1789	Valtiberina	5.8	IX	oltre 500
1328	Norcia	6.4	X	circa 4000	1799	Appennino Marchigiano	6.1	IX-X	85
1352	Monterchi	6.4	IX	2000 - 3000	1832	Valle del Topino	6.3	X	40-70
1353	San Sepolcro	6.0	IX		1859	Norcia	5.5	VIII-IX	101
1389	Bocca Serriola	6.0	IX	numerose	1917	Valtiberina	5.9	IX-X	20
1458	Valtiberina	5.8	VIII-IX	molto numerose	1930	Senigallia	5.8	VIII-IX	18
1599	Valnerina	6.0	IX	numerose	1943	Marche meridionale Abruzzo	5.8	IX	20 - 30
1639	Amatrice	5.9	X	circa 500	1979	Valnerina	5.9	VIII-IX	5
1672	Riminese	5.6	VIII	200	1997	Appennino Umbro-Marchigiano	6.0	IX	11
1690	Ancoretano	5.6	VIII-IX	una decina	1997	Appennino Umbro-Marchigiano	5.7	VIII-IX	
1695	Bagnoregio	5.8	IX	200 (tsunami a Bolsena)	2016	Marche meridionali Lazio	6.0	X-XI	299
1703	Appennino Umbro-Reatino	6.7	XI	circa 10000	2016	Appennino Umbro-Marchigiano	5.9	X	
1703	Aquilano	6.7	X		2016	Appennino Umbro-Marchigiano	6.5	XI	
1730	Valnerina	5.9	IX	oltre 200					
1741	Fabrianese	6.2	IX	una decina					
1751	Appennino Umbro-Marchigiano	6.3	X	una decina					

fatto ed in particolare dalla sua altezza, tanto che può essere approssimativamente stimato dividendo per 10 il numero di piani. In tal modo, un edificio di 10 piani oscilla con un periodo di circa 1 secondo e così via. Lo spettro di risposta riportato in figura 3 mostra che per i periodi naturali attorno a 0.3 secondi (corrispondenti ad edifici di 3-5 piani), l'accelerazione orizzontale prodotta dalla scossa del 24 Agosto (descritta dalle curve rossa e blu nel grafico) ha raggiunto valori tra 1 e 2g, giustificando i gravissimi danni osservati. Infatti, il patrimonio edilizio della dorsale appenninica è prevalentemente costituito da

edifici relativamente bassi, che hanno maggiormente risentito dello scuotimento sismico. D'altra parte, lo spettro di risposta teorico previsto dalle normative vigenti (Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 14/1/2008 e successiva Circolare 617/2009) e costruito in base alla PGA valutata con la procedura probabilistica, prevede un'accelerazione massima di circa 0.7g (il tratto orizzontale della linea verde tracciata in figura 3). La discrepanza tra lo spettro di risposta osservato e lo spettro teorico, previsto dalla normativa vigente, è ancora più marcata nel caso riportato in figura 4, che si riferisce alla scossa del



**Fig. 3 -** Andamento delle accelerazioni orizzontali ( $S_a$ ) in rapporto al periodo naturale di oscillazione degli edifici ( $T$ ). Le curve rossa e blu descrivono lo spettro delle accelerazioni registrate dalla stazione accelerometrica di Norcia (NRC) in direzione rispettivamente Est-Ovest e Nord-Sud in occasione del terremoto del 24 Agosto 2016. Si noti il picco di accelerazione per periodi naturali attorno a 0.3 secondi, compatibili con il periodo proprio di oscillazione di edifici di 3-5 piani. Le linee nere rappresentano gli spettri elastici di progetto definiti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni. In particolare, il tracciato verde è lo spettro di riferimento, costruito in base alla PGA con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Informazioni più dettagliate sono riportate in ReLUIS-INGV Workgroup, 2016.



**Fig. 4 -** Andamento delle accelerazioni orizzontali ( $S_a$ ) in rapporto al periodo naturale di oscillazione degli edifici ( $T$ ). Le curve rossa e blu descrivono lo spettro delle accelerazioni registrate dalla stazione accelerometrica di Forca Canapine (FCC) in direzione rispettivamente Est-Ovest e Nord-Sud in occasione del terremoto del 30 Ottobre 2016. In questo caso l'accelerazione spettrale ha raggiunto e superato 3g per periodi naturali attorno a 0.3 secondi. Come nella figura precedente, il tracciato verde è lo spettro elastico teorico di riferimento, costruito in base alla PGA con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Informazioni più dettagliate sono riportate in ReLUIS-INGV Workgroup, 2016. Secondo tale rapporto, se le registrazioni mostrate in figura venissero confermate dai controlli tecnici sugli strumenti, questo sarebbe il più forte scuotimento mai osservato in Italia.

30 Ottobre 2016 (maggiori dettagli sono riportati in ReLUIS-INGV Workgroup, 2016).

Le evidenze mostrate sopra e le argomentazioni espresse in lavori precedenti dovrebbero indurre gli esperti del DPC e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) a rivedere le carte di pericolosità attuali. Però, a questo riguardo, nel sito dell'INGV si può leggere: *cambiare le carte attuali sarebbe molto complicato perché i sismologi non sono tenuti a conoscere quale possa essere il terremoto massimo che ci si può attendere in una data zona.*

Questa giustificazione non sembra accettabile. Una qualsiasi persona di buon senso tende a pensare che se una zona sismogenetica ha generato scosse di una data intensità, vuol dire che ospita faglie capaci di generare nuovamente terremoti di quelle dimensioni. Siccome nessun tipo di algoritmo statistico può permettere di escludere (o ritenere poco probabile) che questo avvenga in qualsiasi istante, è necessario che (per un elementare senso di prudenza, al di sopra di qualsiasi analisi scientifica) nelle zone implicate gli edifici siano costruiti in modo da poter re-

sistere per lo meno alle intensità massime registrate in passato. Non è un caso che questo ragionamento ci abbia portato a elaborare carte di pericolosità che sono poi risultate compatibili con i danni effettivamente riscontrati nelle zone recentemente disastrose (Mantovani et al., 2014b). Se i tecnici operanti sul territorio avessero considerato tali carte, è ragionevole pensare che gli effetti dei danni sui manufatti successivamente edificati o ristrutturati sarebbero stati sicuramente inferiori a quelli osservati.

La risposta del DPC alle varie sollecitazioni ricevute per aggiornare le carte di pericolosità, è stata quella di concedere all'INGV un cospicuo finanziamento per fondare il Centro di Pericolosità Sismica e tramite questo esaminare il problema. Questa iniziativa (basata sull'assunzione arbitraria che le conoscenze più avanzate sul problema siano possedute dall'Ente sopra citato) non ha certo favorito una serena valutazione critica delle carte vigenti, in quanto per procedere a eventuali revisioni gli autori di tali carte (INGV) dovrebbero ammettere di avere precedentemente scelto una metodologia inadeguata. Anche se

in teoria la revisione potrebbe essere fatta in collaborazione con la comunità scientifica, la possibilità che opinioni diverse da quelle dell'INGV siano prese in seria considerazione sembrano essere molto limitate.

La realizzazione di un nuovo modello di pericolosità sismica, denominato MPS16, è stato annunciato dal suddetto Centro nell'Aprile 2015 e dovrebbe essere pubblicato nel presente anno. In ogni caso, si tratterà di un semplice aggiornamento della procedura probabilistica PSHA, cioè la stessa su cui sono basate le attuali carte di pericolosità.

A questo riguardo, è confortante sapere che ci sono professionisti e imprese di costruzioni che hanno la possibilità di valutare l'efficacia di tali carte senza essere condizionati da pressioni di parte. Con notevole soddisfazione (purtroppo avvelenata dalle tragedie sismiche di Agosto e Ottobre),

abbiamo ricevuto varie comunicazioni da parte di professionisti che hanno operato nelle zone terremotate con cui ci è stato segnalato che gli effetti osservati sul terreno sono compatibili con quelli indicati dalle carte da noi compilate per le Marche e l'Umbria e (come descritto sopra), cioè valori molto superiori a quelli previsti dalle carte ufficiali. Alcuni professionisti ci hanno anche confidato che nei loro interventi edilizi precedenti avevano assunto come obiettivo un livello di sicurezza più elevato rispetto a quello indicato dalle carte ufficiali (da loro ritenuto sottostimato).

Le considerazioni riportate in questa nota sono state presentate in una pubblica conferenza tenuta a Siena il 23 novembre scorso presso l'Accademia dei Fisiocritici, come iniziativa congiunta di quel Centro Culturale e dell'Università di Siena.

## Opere citate

Cornell C.A. (1968) - *Engineering seismic risk analysis*. Bull. Seism. Soc. Am., 58: 1583-1606.

Galli P, Peronace E. & Tertuliani A. (2016) - *Rapporto sugli effetti macrosismici del terremoto del 24 Agosto 2016 di Amatrice in scala MCS*. Roma, rapporto congiunto DPC, CNR-IGAG, INGV, 15 pp.

Geller R.J., Mulargia F. & Stark P.B. (2015) - *Why We Need a New Paradigm of Earthquake Occurrence*. In: Morra G., Yuen D.A., King S.D., Lee S.-M. & Stein S. (eds.), *Subduction Dynamics: From Mantle Flow to Mega Disasters*. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ. doi: 10.1002/9781118888865.ch10.

Gomez Capera A.A., D'Amico V., Meletti C., Rovida A. & Albarello D. (2010) - *Seismic Hazard Assessment in Terms of Macroseismic Intensity in Italy: A Critical Analysis from the Comparison of Different Computational Procedures*. Bulletin of the Seismological Society of America, 100:1614-1631.

Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A., Falciani F., Fianchisti G., Baglione M., D'Intinosante V. & Fabbri P. (2012) - *Potenzialità sismica della Toscana e definizione di criteri per interventi di prevenzione*. Regione Toscana, Centro stampa Giunta Regione Toscana, Firenze (<http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/index.shtml>).

Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A., Falciani F., Fianchisti G., Baglione M., D'Intinosante V., Fabbri P., Martelli L., Baldi P. & Bacchetti M. (2013) - *Assetto tettonico e potenzialità sismica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana*. Regione Toscana e Regione Emilia-Romagna, Centro Stampa- Regione Emilia-Romagna, pagg. 168. (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/servizio-geologico-sismico-suoli>) e (<http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/index.shtml>).

Mantovani E., Viti M., Cenni N. & Babbucci D. (2014a) - *Revisione delle mappe di pericolosità sismica: alcune idee per la Toscana e l'Emilia-Romagna*. Il Geologo, Giugno.

Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A. & Falciani F. (2014b) - *Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco-Umbro-Marchigiano*. Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università di Siena (<http://goo.gl/RdH6DJ> - parte 1 - e <http://goo.gl/ORR70E> - parte 2).

McGuire R. K. (1978) - *FRISK: Computer program for seismic risk analysis using faults as earthquake sources*. U. S. Geol. Surv. Open File Report, 78-1007, pagg. 71.

Mulargia F. & Geller R.J. (eds.) (2003) - *Earthquake science and seismic risk reduction*. NATO Science Series, Vol. 32, Kluwer Academic Publ., pagg. 338.

Panza G.F. & Peresan A. (2016) - *Difendersi dal terremoto si può. L'approccio Neo-Deterministico*. EPC S.r.l. Socio Unico, Roma, ISBN: 978-88-6310-738-8.

ReLUIS-INGV Workgroup (2016) - *Preliminary study on strong motion data of the 2016 central Italy seismic sequence V6*. (disponibile in <http://www.reluis.it>).

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. & Gasperini P. (eds.) (2016) - *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGVIT-CPTI15>

Rugarli P. (2014) - *Validazione strutturale. Vol.1, Aspetti generali*. EPC Editore, Roma.

Stein S., Geller R.J. & Liu M. (2012) - *Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it*. Tectonophysics, 562-563: 1-25.

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M. & Boschi E. (2011) - *Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code*. Bull. Seismol. Soc. Am., 101: 1885- 1911.

Viti M., Mantovani E., Babbucci D., Tamburelli C., Cenni N., Falciani F. & Vannucchi A. (2009) - *Stime avanzate di pericolosità sismica nell'Appennino settentrionale*. Etrurianatura, 6: 39-47.

# La parola all'immagine



Cinciarella: *Cyanistes caeruleus* (Linnaeus, 1758)

Foto di Giovanni Bencini