

Geologia dell' Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale



Supplemento al n. 1/2018
ISSN 1591-5352

Rischio sismico in Italia: analisi e prospettive per una prevenzione efficace in un Paese fragile



Poste Italiane S.p.a. - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1 - DCB Roma



A cura di
Antonello Fiore e Vincent Ottaviani

Dissesti geologici, frane, crepe, cedimenti e problemi strutturali di edifici o terreni ?

GE.AR. con oltre sessant'anni di esperienza e migliaia di interventi effettuati e garantiti **indaga, consiglia e, se necessario, consolida** fabbricati, opere edili e terreni con competenza certificata e adottando i migliori sistemi e mezzi all'avanguardia.

Collaboriamo, ci confrontiamo e aiutiamo i tecnici nella risoluzione di problematiche geologico-tecniche; numerosi sono i geologi che ci affidano le loro indagini geognostiche e geofisiche.

Facciamo anche il Noleggio a caldo di perforatrici, penetrometri e apparecchiature per indagini geognostiche e geofisiche.

SETTORE GEOGNOSTICA-GEOTECNICA-IDROGEOLOGIA

Siamo in grado di effettuare ogni tipologia di indagini dirette ed indirette:

Sondaggi stratigrafici economici con possibilità di realizzare prove e prelievi a qualsiasi quota; **Sondaggi geognostici standard**; **Prove scissometriche**, prove **pressiometriche** e **prove SPT** in FORO; **Prelievo di campioni indisturbati** con vari tipi di campionatori; **Inclinometri** (misure inclinometriche, anche con acquisizione continua); **Piezometri**: Norton, di Casagrande a Corda Vibrante (anche con acquisizione continua); **Prove di permeabilità** in foro (Lefranc, lugeon); **Sondaggi ambientali** con carotieri aperti e a pistoni, con criteri dettati dalle normative in materia; **Prove penetrometriche dinamiche** medie, pesanti, superpesanti (SCPT-DPSH); **Prove penetrometriche statiche** sino a 20KN; **Prove da carico su piastra**; **Prove di carico su pali e su micropali**, con fornitura e organizzazione dei sistemi di contrasto **Prove di tesatura tiranti**, a barre e a trefoli, anche con celle carico; **Prove di pompaggio su pozzi** acquiferi.

SETTORE GEOFISICA: Indagini **Geelettriche 2d e 3d** tomografie elettriche; **Prove Sismiche** a rifrazione; **Down hole**; **Cross hole**; **Tomografie sismiche**; **MASW**.

SETTORE CONSOLIDAMENTO EDIFICI E TERRENI E INGEGNERIA NATURALISTICA

Consolidamenti di opere murarie, strutture lesionate e pareti di roccia degradata. Specialisti nell'esecuzione e messa in opera di **PALI** di medio e grande diametro all'interno degli edifici ed in siti molto angusti. **Iniezioni di RESINE** e **MALTE CEMENTIZIE**, **GUNITI**, **SPRITZ BETON** per consolidamenti e impermeabilizzazioni. Interventi di **INGEGNERIA NATURALISTICA**. **PALI** da Ø250mm a 1.200mm; **MICROPALI** da Ø60mm a 300mm; **Paratie tirantate**; **TIRANTI**, a trefoli e a barre; **CATENE**; **Chiodature** **Carotaggi** e tiranti nelle murature con **carotatrici al diamante** sino a 25metri prof.; **Perforazioni orizzontali**; **Dreni** verticali e sub-orizzontali; **Gabbionate**; **Reti antierosione**; **Reti strutturali**; **Geostuie**; **Idrosemine**.

Possibilità di detrazione fiscale su interventi di consolidamento e miglioramento sismico, con iva ridotta al 10%



GE.AR. sas
di **Consolidamenti**
ARCANGELI Giorgio

ACCREDITA
ATTICO SOA
aif
UNI EN ISO 9001:2008 OS21 - OS20-B
Azienda Attivata e qualificata per l'esecuzione di lavori pubblici

Strada Calvese, 20 - 05035 NARNI (TR)
Tel. **0744 79.68.84** Fax **0744 79.70.14**
e-mail: **info@ge-ar.it** - sito web: **www.ge-ar.it**

grafica Stefano Arcangeli

Società Italiana di Geologia Ambientale

Associazione di protezione ambientale a carattere nazionale riconosciuta dal Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare con D.M. 24/5/2007 e con successivo D.M. 11/10/2017

PRESIDENTE
Antonello Fiore

CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE
Danilo Belli, Lorenzo Cadrobbi, Franco D'Anastasio
(*Segretario*), Daria Duranti (*Vicepresidente*),
Antonello Fiore (*Presidente*), Sara Frumento,
Fabio Garbin, Enrico Gennari, Giuseppe Gisotti
(*Presidente onorario*), Gioacchino Lena
(*Vicepresidente*), Luciano Masciocco, Michele
Orifici, Vincent Ottaviani (*Tesoriere*), Angelo Sanzò,
Livia Soliani

Geologia dell'Ambiente
Periodico trimestrale della SIGEA

Supplemento al n. 1/2018
Anno XXVI - gennaio-marzo 2018

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229
del 31 maggio 1994

DIRETTORE RESPONSABILE
Giuseppe Gisotti

COMITATO SCIENTIFICO
Mario Bentivenga, Aldino Bondesan,
Giancarlo Bortolami, Giovanni Bruno,
Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado,
Gioacchino Lena, Giacomo Prosser,
Giuseppe Spilotro

COMITATO DI REDAZIONE
Fatima Alagna, Federico Boccalaro,
Giorgio Cardinali, Francesco Cancellieri,
Valeria De Gennaro, Fabio Garbin,
Gioacchino Lena, Maurizio Scardella

REDAZIONE
SIGEA: tel. 06 5943344
Casella Postale 2449 U.P. Roma 158
info@sigeaweb.it

PROCEDURA PER L'ACCETTAZIONE DEGLI ARTICOLI
I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione,
dopo che sia stata verificata la loro pertinenza con
i temi di interesse della Rivista, saranno sottoposti
ad un giudizio di uno o più Referees

UFFICIO GRAFICO
Pino Zarbo (Fralerighe Book Farm)
www.fralerighe.it

STAMPA
Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

Stampato con il contributo di Fralerighe Book Farm
e ABEO srl Siracusa

Questo numero è stato redatto sulla base delle
informazioni disponibili al 15 giugno 2018

La quota di iscrizione alla SIGEA per il 2018
è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista
"Geologia dell'Ambiente". Per ulteriori informazioni
consulta il sito web all'indirizzo www.sigeaweb.it

Sommario

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Premessa CLAUDIO CAMPOBASSO | 5 |
| Presentazione ANTONELLO FIORE E VINCENT OTTAVIANI | 6 |
| 1. TERREMOTI E SOCIETÀ | |
| I disastri sismici in Italia: una riflessione sulle risposte sociali e culturali nel lungo periodo EMANUELA GUIDOBONI | 11 |
| La "prevenzione del giorno dopo" e quella per il nuovo secolo ROBERTO DE MARCO | 19 |
| La prevedibilità dei disastri sismici fra sismologia e storia GIANLUCA VALENSISE | 24 |
| Moderni sistemi per la prevenzione sismica ALESSANDRO MARTELLI | 31 |
| Vulnerabilità sismica e meccanismi resistenti alla scala urbana GIOVANNI CANGI | 40 |
| La gestione emergenziale dei fenomeni sismoindotti: i casi dei terremoti avvenuti in Abruzzo (2009), in Emilia-Romagna (2012) e nel Centro Italia (2016-2017) PAOLO MARSAN, ANGELO CORAZZA | 45 |
| Quando la scienza incontra il diritto: le responsabilità legate alla gestione del rischio tsunami CECILIA VALBONESI | 58 |
| Il ruolo delle assicurazioni nella prevenzione dei rischi: il caso dei terremoti DONATELLA PORRINI | 64 |

In copertina: Carta della pericolosità sismica dell'Italia (Fonte: INGV) e *ex-voto* relativo al terremoto di Foligno del 13 gennaio 1832, conservato nel santuario di Santa Maria delle Grazie, a Cesena. (da E-Guidoboni e J. P. Poirier, *Quand la terre tramblait*, Paris, 2004).

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Strumenti didattici per l'analisi dei fenomeni sismici FRANCESCA CIFELLI | 69 |
| Il terremoto nella mente DONATELLA GALLIANO, LUIGI RANZATO | 75 |
| Come i media raccontano un'emergenza LUCA CALZOLARI | 80 |
| 2. IL RUOLO DELLE ISTITUZIONI | |
| Il monitoraggio sismico del territorio Italiano GAETANO DE LUCA, NICOLA VENISTI | 85 |
| Il Centro Allerta Tsunami (CAT) dell'Ingv ALESSANDRO AMATO E IL TEAM DEL CAT | 91 |
| Pericolosità sismica, normativa e classificazione sismica in Italia CARLO MELETTI, MASSIMILIANO STUCCHI, GIAN MICHELE CALVI | 98 |
| Evoluzione delle normative sismiche in Italia dal punto di vista geologico MAURIZIO LANZINI | 107 |
| La Microzonazione Sismica: prospettive e applicazioni nella pianificazione e progettazione SERGIO CASTENETTO, GIUSEPPE NASO | 113 |
| Le attività del Servizio Geologico d'Italia (ISPRA) a seguito della sequenza sismica del 2016-2017 in Italia Centrale GRUPPO DI LAVORO SGI SU EMERGENZA TERREMOTO | 117 |
| 3. LA RICERCA SUI TERREMOTI IN ITALIA: METODI E PROSPETTIVE | |
| I caratteri della sismotettonica in Italia: osservazioni e modelli PAOLA VANNOLI, PIERFRANCESCO BURRATO | 139 |
| La sismicità del Veneto tra eventi storici e recenti JACOPO BOAGA | 148 |
| Il rischio sismico in Toscana e la microzonazione sismica MASSIMO BAGLIONE | 154 |
| La prevenzione del rischio sismico nella pianificazione urbanistica: la carta di pericolosità sismica della regione Lazio EUGENIO DI LORETO | 160 |

I terremoti dell'estate-autunno 2016 in Italia centrale: nuove prospettive per la valutazione della pericolosità sismica

EMANUELE TONDI
E-mail: emanuele.tondi@unicam.it

TIZIANO VOLATILI
E-mail: tiziano.volatili@unicam.it

PIETRO PAOLO PIERANTONI
E-mail: pietropaolo.pierantoni@unicam.it

Sezione di Geologia, Scuola di Scienze e Tecnologie,
Università di Camerino

The 2016 earthquakes in central Italy: new perspectives for the evaluation of the seismic hazard

Parole chiave (*key words*): Appennino (*Apennine*), sequenza sismica (*seismic sequence*), faglie attive (*active faults*), ciclo sismico (*seismic cycle*), pericolosità sismica (*seismic hazard*)

RIASSUNTO

Gli eventi sismici dell'estate-autunno 2016 in Italia centrale hanno causato numerose vittime e danni mostrando ancora una volta l'incapacità di ridurre efficacemente il rischio sismico nel nostro Paese.

Le ragioni per cui non si riesce a ridurre il rischio sismico in Italia vengono generalmente e diffusamente associate a problematiche relative alla consapevolezza del rischio da parte di amministratori e cittadini, alla disponibilità di fondi e a tecniche ingegneristiche idonee a seconda del contesto in cui vengono applicate. In questo lavoro, invece, proponiamo una riflessione sugli strumenti attualmente in uso per fare prevenzione in ambito di terremoti, in particolare sull'informazione di base necessaria e relativa alla pericolosità sismica.

La carta di pericolosità sismica attuale, costruita su base probabilistica ed indipendente dal tempo, non permette di individuare quelle aree in cui predisporre in maniera prioritaria piani di emergenza ed una efficace riduzione della vulnerabilità delle opere antropiche.

Se si vuole evitare, nel prossimo futuro, che si ripeta di nuovo lo stesso scenario post-sisma del 2016 occorre sviluppare a livello nazionale un discorso avanzato di valutazione della pericolosità sismica, dove i risultati della ricerca scientifica relativi alla Geologia dei Terremoti e alla Sismologia degli ultimi venti anni vengano estratti dai lavori scientifici e messi a disposizione per la gestione e sicurezza del territorio.

1. INTRODUZIONE

A partire da fine Agosto 2016, una serie di terremoti da moderati a forti ha colpito l'Appennino centrale causando quasi 300 vittime e gravi danni in una vasta area dell'Italia centrale, da Campotosto a sud, in Abruzzo, fino a Camerino a nord, nelle Marche (Fig. 1). Il

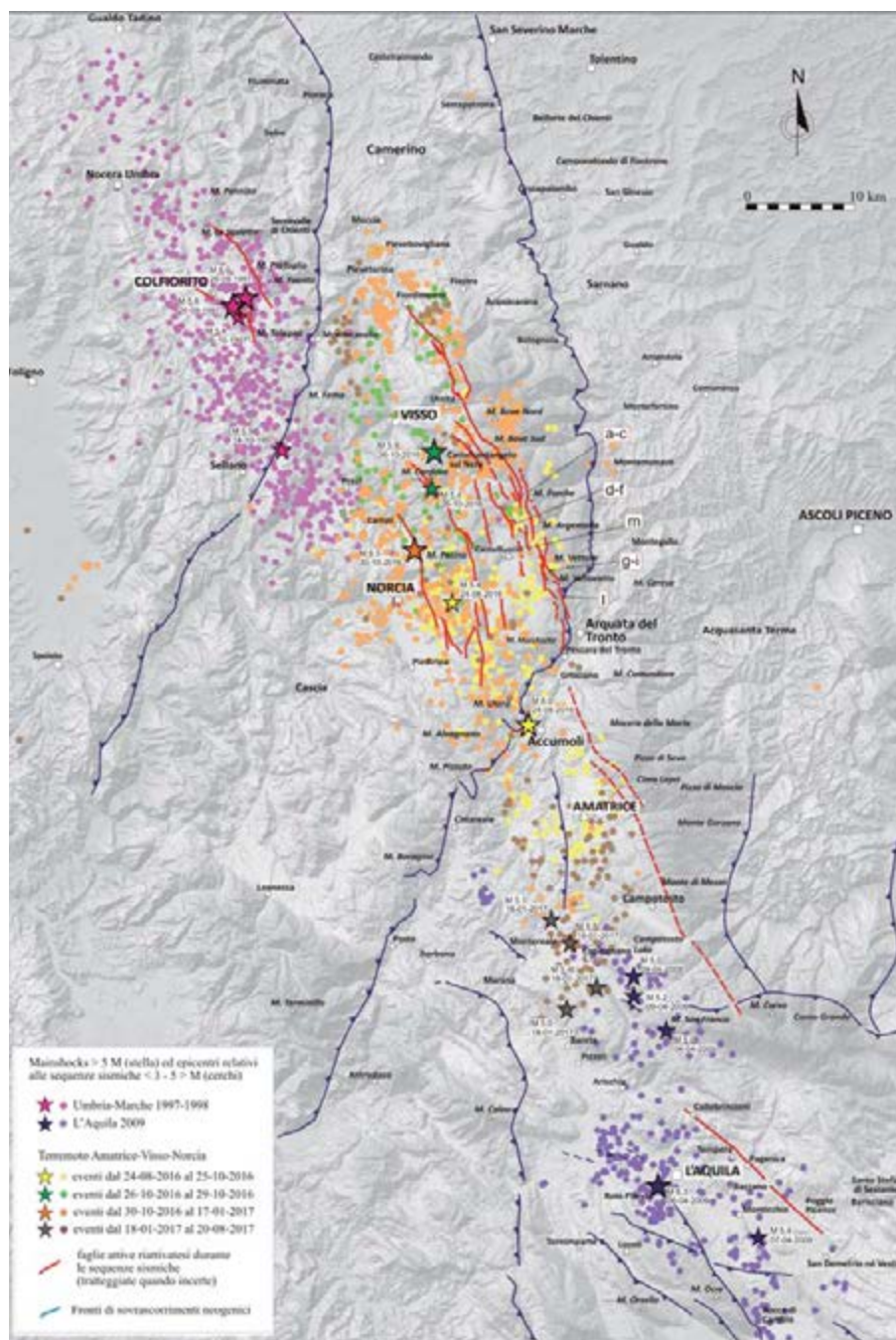


Figura 1 – Mappa degli epicentri (fonte www.ingv.it) e delle faglie attive relativi alle sequenze sismiche che hanno colpito l'Italia centrale dal 1997 ad oggi



Figura 2 – Esempi di fagliazione cosismica lungo il sistema di faglie Monte Vettore-Monte Bove (si veda ubicazione in Fig.1). Vista panoramica della fagliazione cosismica a Monte Porche (a) e relativi dettagli (b-c); vista panoramica della fagliazione cosismica lungo le faglie antitetiche a Pian Perduto (d) e relativi dettagli (e-f); vista panoramica della faglia del Cordone del Vettore (g-h) e relativi dettagli (i, l), fagliazione cosismica a Valle delle Fonti (m)

24 Agosto si è verificato il primo terremoto di $M_w = 6.0$ con epicentro ad Accumoli, vicino ad Amatrice, dopo circa due mesi (26 Ottobre) ne è seguito un altro di $M_w = 5.9$, tra Castel Sant'Angelo e Visso, tre giorni dopo (30 ottobre) si è verificato il terremoto più forte della sequenza sismica di $M_w = 6.5$, poco a NE di Norcia (Fig. 1; Chiaraluca *et al.*, 2017). Altri eventi si sono verificati nel settore meridionale della sequenza il 18 gennaio 2017, con M_w massima = 5,5. Le scosse di assestamento della sequenza sismica dell'Italia centrale 2016-2017 sono confinate alla crosta superiore (10-12 km di profondità massima) e sono distribuiti in direzione NO-SE per ca. 80 km tra le città di Camerino a nord e Pizzoli a sud (Chiaraluca *et al.*, 2017).

I dati geologici relativi agli effetti di superficie rilevati subito dopo gli eventi sismici (Civico *et al.* et Open Emergeo Working Group, 2017; Fig. 2), così come i numerosi dati geofisici disponibili (dati accelerometrici, interferometria radar e GPS; Chiaraluca *et al.*, 2017 e bibliografia citata, Wilkinson *et al.*, 2017) sono tutti concordi nell'attribuire la genesi degli eventi sismici del 2016 al sistema di faglie del Monte Vettore-Monte Bove (Calamita and Pizzi, 1994), costituito da diversi segmenti di faglie normali e/o transtensive, che si estende per circa 30 chilometri in direzione NO-SE (Fig. 1). Per quanto riguarda il primo evento

(24 Agosto 2016, $M_w = 6,0$), dovrebbe aver contribuito anche la porzione settentrionale della Faglia dei Monti della Laga (Galadini and Galli, 2003). Tuttavia, in corrispondenza della faglia, affiorante immediatamente a NE di Amatrice, non sono stati rilevati evidenti e certi fenomeni di riattivazione superficiale (Anzidei and Pondrelli, Eds. 2016).

Negli anni precedenti la crisi sismica, erano stati effettuati numerosi studi e ricerche di carattere geologico e finalizzati alla individuazione e caratterizzazione delle faglie attive (Fig. 3). In particolare, il sistema di faglie del Monte Vettore-Monte Bove era stato mappato e riconosciuto come attivo già dal 1994 (Calamita e Pizzi, 1994). In termini sismogenici, il sistema di faglie suddetto veniva interpretato come espressione superficiale di una faglia sismogenica (si veda il metodo della segmentazione areale in Tondi, 2000) che, sulla base di considerazioni relative alla sua dimensione, era in grado di generare terremoti di magnitudo massima pari a 6,5-6,7 (Barchi *et al.*, 2000). Successivi studi paleosismologici condotti attraverso la Faglia del Monte Vettore confermavano la stima della magnitudo massima attesa (Galadini and Galli, 2003). Cello *et al.*, (1997) inserivano il sistema di faglie attive del Monte Vettore – Monte Bove nel contesto del ben più ampio sistema di faglie attive dell'Italia centrale

e Tondi and Cello (2003) ne ricostruivano il ciclo sismico, che interpretato come "slip and time predictable" indicava un periodo di ritorno degli eventi più forti ($M > 6,5$) di circa 350 anni. L'ultimo evento con una magnitudo stimata di 6,9 era avvenuto il 14 Gennaio 1703 (Rovida *et al.*, 2016), più di 300 anni fa. Considerando il margine di incertezza insito nel modello, possiamo affermare che la previsione è stata verificata e gli eventi de L'Aquila del 2009 di $M_w = 6,3$ e i tre eventi principali della sequenza sismica del 2016 lo hanno completato (Fig. 3).

Sulla base degli studi geologici pregressi, nell'area interessata dalla crisi sismica del 2016 erano disponibili tutte le informazioni necessarie per una corretta valutazione della pericolosità sismica:

- 1) la mappa delle faglie attive in superficie, che per quanto riguarda il sistema di faglie del Monte Vettore – Monte Bove erano anche cartografate in dettaglio (Pierantoni *et al.*, 2013);
- 2) l'interpretazione delle faglie attive superficiali in chiave sismogenica, con una magnitudo massima attesa per il sistema di faglie del Monte Vettore - Monte Bove compresa tra 6,5 e 6,7;
- 3) il periodo di ritorno di circa 350 anni per gli eventi sismici più forti generati dall'intero sistema di faglie attive dell'Italia centrale.

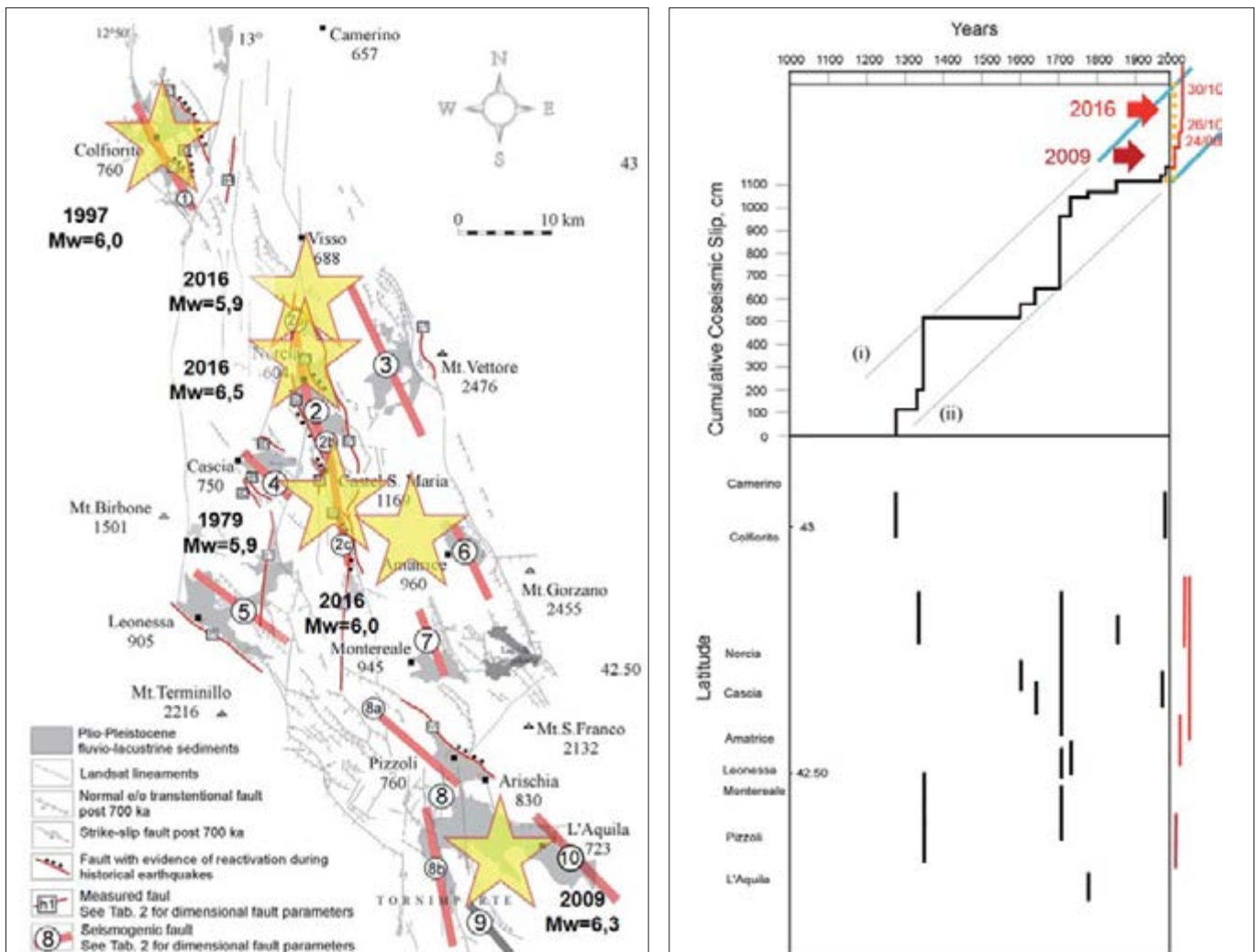


Figura 3 – Il sistema di faglie attive dell'Italia centrale, con l'integrazione della faglia di Paganica, n.10 (modificato da Tondi and Cello, 2003). Il ciclo sismico del sistema di faglie attive dell'Italia centrale (in nero) ricostruito in Tondi and Cello (2003) è stato integrato con gli eventi del 2009 de L'Aquila e del 2016 di Amatrice-Visso-Norcia (in rosso)

Con l'ultimo verificatosi più di 300 anni fa (Terremoto di Norcia del 14 Gennaio 1703, Mw=6,9; Rovida *et al.*, 2016).

Nonostante le conoscenze disponibili, si è potuto verificare come non fosse stata pianificata l'emergenza, né tantomeno era stata ridotta la vulnerabilità sismica di edifici ed infrastrutture pubbliche e private. Questo ha determinato la morte di quasi 300 persone, la devastazione di numerosi centri abitati con più di 11.000 sfollati, la perdita di edifici e opere di grande valore storico/culturale, la chiusura e/o la forte crisi di innumerevoli attività economiche, generando un "cratere sismico" imponente attraverso 4 regioni dell'Italia centrale (Marche, Umbria, Lazio e Abruzzo).

Viene quindi da chiedersi: come mai non riusciamo a difenderci in maniera adeguata dai terremoti anche quando questi avvengono in aree in cui si hanno le conoscenze per farlo? Le risposte possono essere principalmente tre: *i*) non facciamo prevenzione, *ii*) la facciamo in maniera non adeguata, *iii*) gli strumenti che utilizziamo per fare prevenzione non ci permettono una efficace riduzione del rischio sismico. I primi due aspetti sono quelli generalmente indicati come responsabili della mancata riduzione del rischio sismico in

Italia. Ampiamente discussi, coinvolgono problematiche relative alla consapevolezza del rischio da parte di amministratori e cittadini, alla disponibilità di fondi e a tecniche ingegneristiche idonee a seconda del contesto in cui vengono applicate. In questo lavoro, invece, vorremmo discutere del terzo aspetto, relativo ad uno degli strumenti necessari per la riduzione del rischio sismico, ovvero la valutazione della pericolosità sismica.

2. LA PERICOLOSITÀ SISMICA

Valutare la pericolosità sismica in maniera corretta è la condizione necessaria alla base delle azioni mirate alla riduzione del rischio sismico, in particolare: *i*) pianificazione dell'emergenza e *ii*) riduzione della vulnerabilità di edifici ed infrastrutture.

La carta di Pericolosità Sismica Nazionale (Fig. 4) è l'unico documento che fornisce in maniera ufficiale informazioni sui terremoti riguardanti il dove, il come (in termini di intensità) e il quando. Le intensità sono espresse in termini di accelerazione orizzontale su suolo rigido ($V_{S30} > 800\text{m/s}$) che hanno la probabilità del 10% di essere superate in un arco temporale di 50 anni e sono quelle che vengono contemplate dalle Norme Tecniche per

le Costruzioni del 2008 (NTC-2008), sia per le nuove costruzioni che per valutare la vulnerabilità sismica degli edifici preesistenti.

Questi due aspetti rappresentano di fatto delle limitazioni nella valutazione corretta delle intensità dei terremoti che vanno necessariamente considerati. Il primo è che la maggior parte dell'edificato non insiste su suoli rigidi, ma su terreni caratterizzati da valori minori di 800 m/s della velocità delle onde sismiche (V_{S30}). Questo fa sì che le accelerazioni indicate siano soggette a significative amplificazioni locali che, se non valutate, possono determinare una grave vulnerabilità sismica delle nuove costruzioni e/o rendere errate le valutazioni di vulnerabilità degli edifici esistenti.

Il secondo è che le intensità riportate nella carta sono calcolate su base probabilistica e non rappresentano i valori di accelerazione massimi che si possono raggiungere. In tale documento, infatti, viene considerato un tempo di ritorno dei terremoti più forti che possono verificarsi nelle varie zone (valutati sui dati storici) di 475 anni. Le intensità massime relative a tali eventi vengono quindi scalate su un tempo minore (50 anni, appunto) utilizzando note relazioni esistenti tra frequenza dei terremoti e magnitudo (si veda per

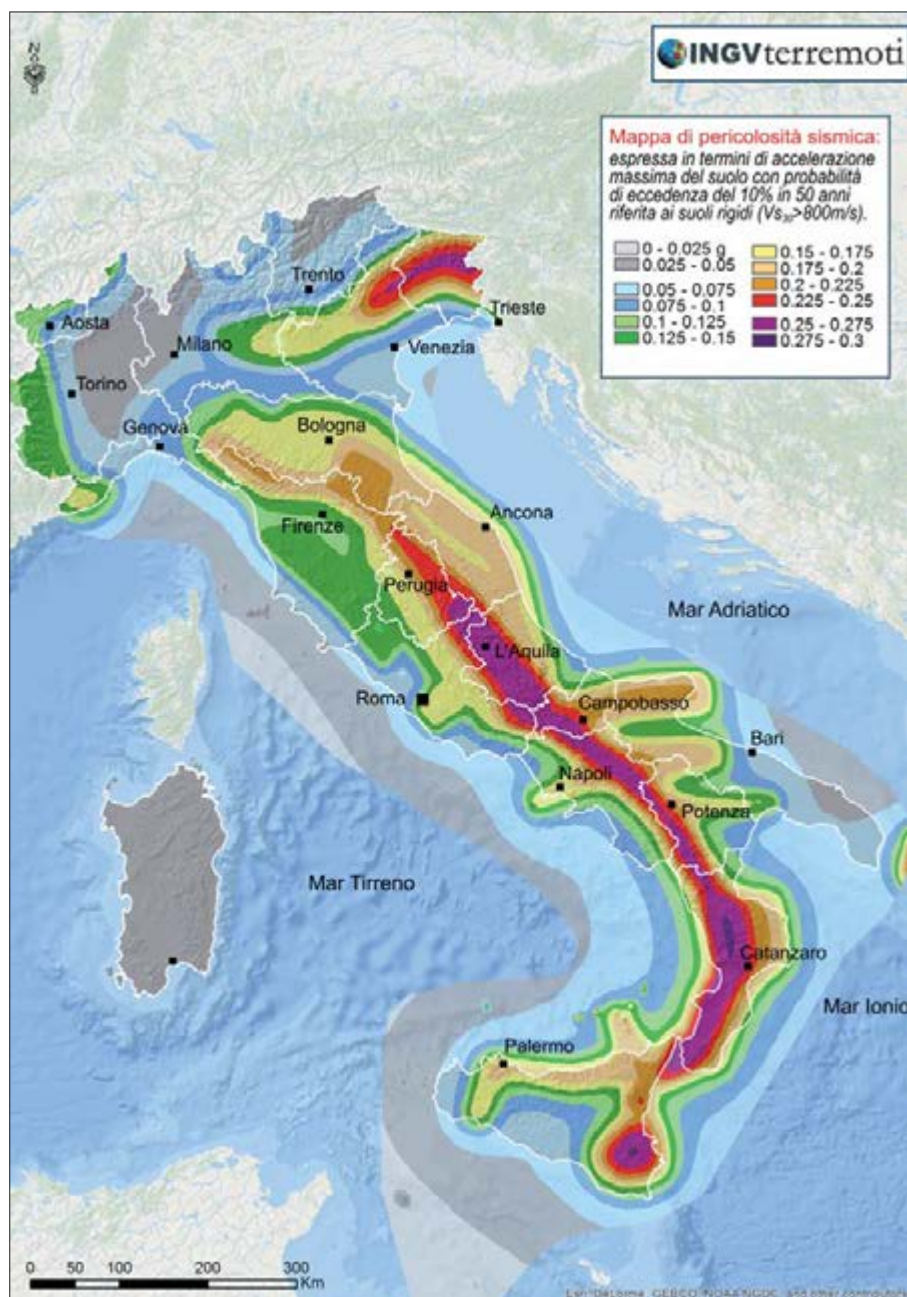


Figura 4 – Carta di pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s), fonte <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

esempio la relazione di Gutenberg-Richter) e conseguentemente ridotte (generalmente da 1/2 a 1/3 di quelle massime possibili).

Questo fa sì che nel momento che si verifica il terremoto massimo di riferimento per quella specifica zona, le accelerazioni orizzontali (anche su suolo rigido) saranno inevitabilmente maggiori di quelle previste dalla carta. Questo fenomeno è stato ampiamente documentato negli ultimi terremoti che si sono verificati in Italia centrale e in Emilia-Romagna. Nelle aree epicentrali dei terremoti de L'Aquila (2009) e di Amatrice-Visso-Norcia (2016), le accelerazioni orizzontali raggiunte hanno avuto valori compresi tra 0,5 e 0,7g (fonte www.ingv.it), a fronte di un valore previsto dalla carta di pericolosità sismica di 0,275g. Lo stesso fenomeno si è verificato in Emilia nel 2012, durante il terremoto di magnitudo 5,8 le accelerazioni hanno raggiunto

un valore di 0,35g, rispetto a 0,10-0,15g previsto (Fig. 5).

Per quanto riguarda le possibili amplificazioni locali, queste vengono valutate con gli studi di microzonazione sismica in riferimento alle caratteristiche geologiche locali. Tuttavia, tali studi impegnativi e costosi vengono vanificati nel momento che si verifica il terremoto massimo previsto. Per fare un esempio, un fattore di amplificazione locale pari a 2 in una zona vicina all'epicentro del terremoto emiliano del 2012 avrebbe portato il valore di pericolosità sismica di progetto da 0,1g (quello presente nella carta) a 0,2g ($0,15g \times 2 = 0,3g$). Durante il terremoto del 2012, in quella stessa zona avremmo invece registrato un'accelerazione pari a 0,7g ($0,35g \times 2 = 0,7g$), più del doppio rispetto a quello previsto, anche a seguito degli studi di microzonazione sismica.

Scalare le intensità massime ad un intervallo temporale di interesse per le attività antropiche (50 anni, appunto) è una scelta corretta. Non è conveniente costruire edifici ed infrastrutture che resistano ad eventi sismici che hanno periodi di ritorno molto lunghi, anche di centinaia o migliaia di anni. Tuttavia, nel calcolo probabilistico sarebbe opportuno tenere in considerazione quando si è verificato l'ultimo evento in una determinata zona. Questo purtroppo la carta di pericolosità sismica non lo fa. È una carta "statica", indipendente dal tempo che non viene aggiornata con il verificarsi dei terremoti.

Sappiamo che ad oggi non è ancora possibile prevedere i terremoti, in quanto le variabili che entrano in gioco sono molteplici e difficilmente valutabili. Tuttavia, i terremoti non sono indipendenti dal tempo, non sono come gli eventi meteorologici, che il giorno dopo hanno la stessa probabilità di verificarsi di nuovo. Questo perché, anche se irregolare e non prevedibile (Wedmore *et al.*, 2017), la faglia ha un ciclo sismico e considerare la sua attività indipendente dal tempo determina un problema più grande di quello che si vorrebbe risolvere. Per esempio, in questo momento la pericolosità sismica prevista a Norcia, dove il terremoto massimo possibile si è verificato pochi mesi fa, è uguale a quella prevista per Sulmona, dove il terremoto di riferimento, sempre di magnitudo compresa tra 6,5 e 7,0, è avvenuto nel 1706, quindi più di 300 anni fa (Rovida *et al.*, 2016; Fig. 6).

A prescindere dai complessi studi che riguardano il fenomeno del terremoto, è facilmente intuibile che nei prossimi 50 anni la probabilità che a Sulmona si verifichi il terremoto massimo possibile è di gran lunga maggiore che a Norcia. Di fatto, quindi, la pericolosità sismica a Sulmona è maggiore che a Norcia e quanto riportato dalla carta di pericolosità sismica è errato.

Un altro aspetto da considerare e che rende le intensità previste dall'attuale carta di pericolosità non attendibili, riguardano gli effetti di amplificazione dovuti alla direzione di propagazione della rottura lungo la faglia (Fig. 7a). Questo fenomeno è stato particolarmente evidente con gli eventi sismici del 2016 (Fig. 7b), dove sia il terremoto del 24 Agosto che quello del 26 Ottobre hanno determinato una maggiore accelerazione al suolo a NE dell'epicentro. In alcune zone, come a Camerino, le accelerazioni associate all'evento di $M_w=5,9$ del 26 Ottobre sono state maggiori delle accelerazioni associate all'evento del 30 Ottobre di $M_w=6,5$, nonostante la minima differenza di distanza dall'epicentro.

2.1. PROSPETTIVE FUTURE

La Carta di Pericolosità Sismica Nazionale è stata pubblicata quindici anni fa, nel 2003. Sulla base delle informazioni disponibili negli

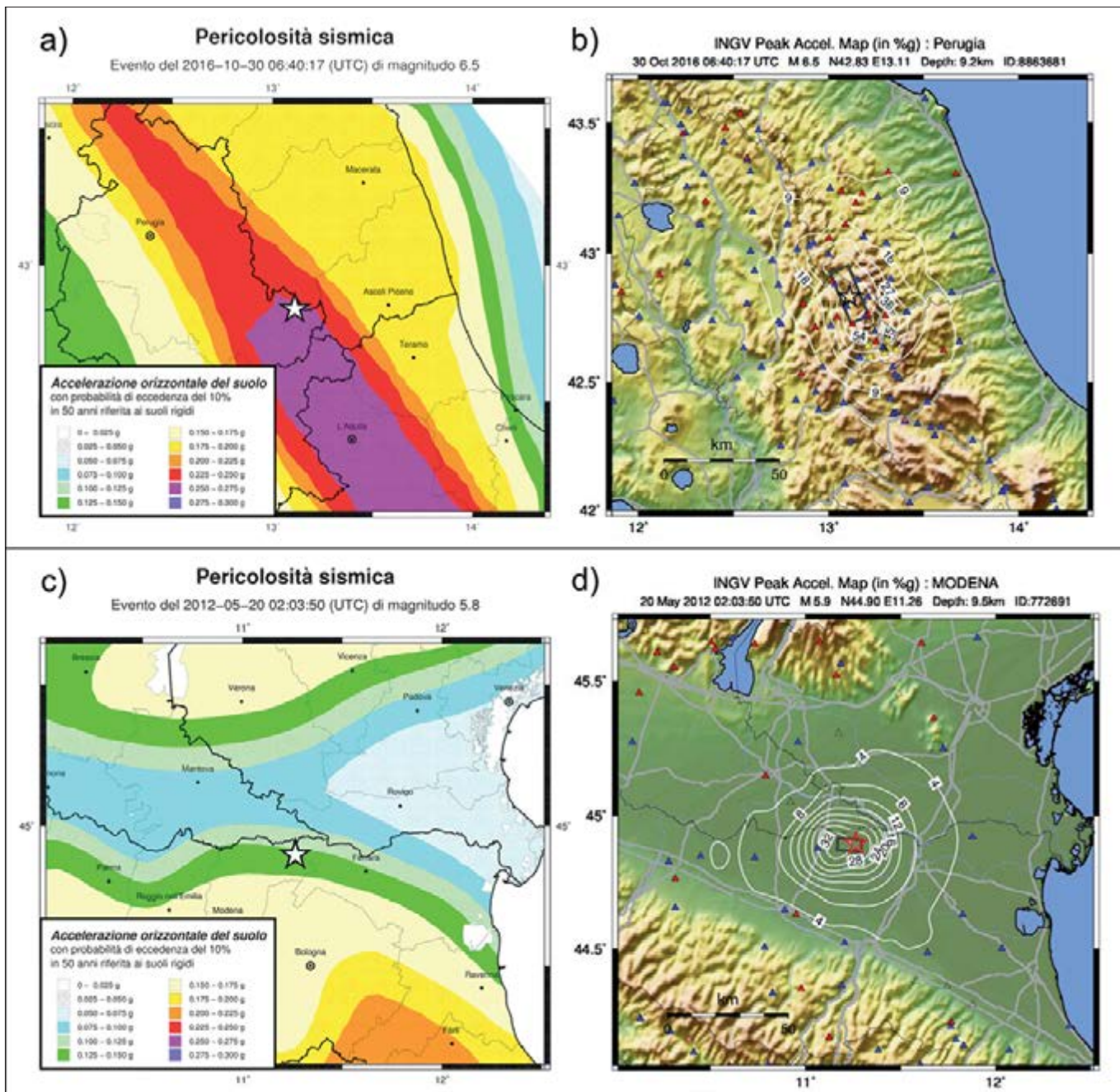


Figura 5 – Accelerazioni previste dalla carta di pericolosità sismica a sinistra e quelle realmente verificatesi nella zona epicentrale del terremoto del 2016 a Norcia (a, b), e nel 2012 in Emilia (c, d) (fonte www.ingv.it)

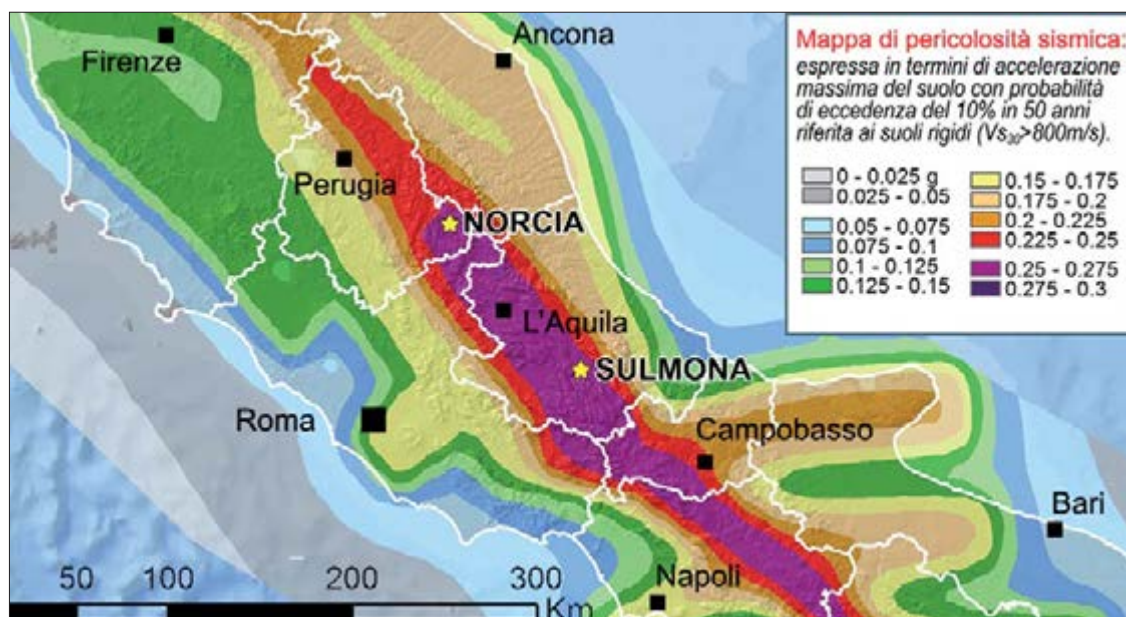


Figura 6 – Ingrandimento della mappa della pericolosità sismica in cui sono evidenziate le città di Norcia e Sulmona, fonte <http://zone-sismiche.mi.ingv.it/>

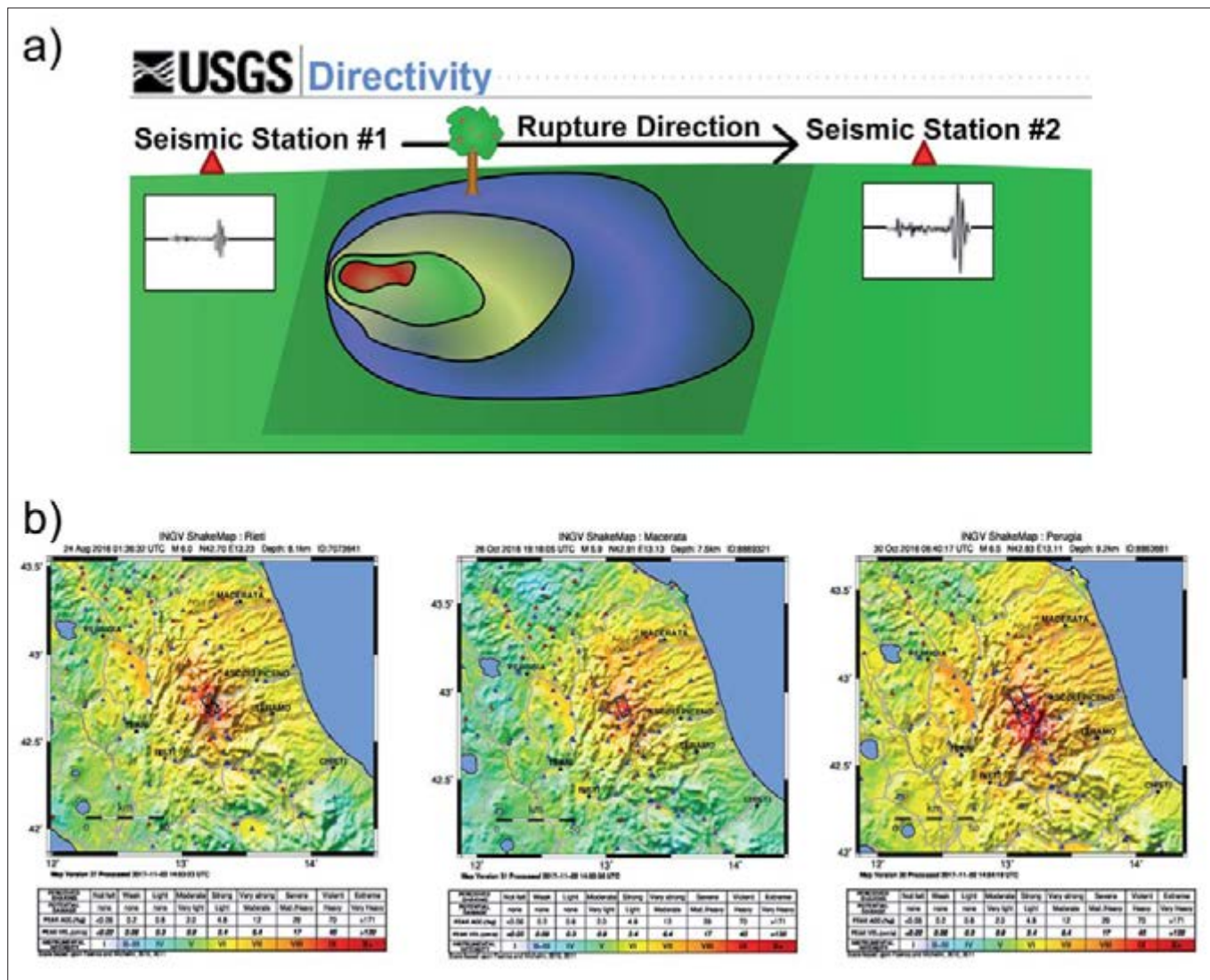


Figura 7 – Fenomeno di amplificazione dell'intensità di un sisma dovuto alla direttività di rottura della faglia; la stazione 2 seppur più distante dall'ipocentro rispetto alla stazione 1 registra un'intensità maggiore del sisma (a); Accelerazioni orizzontali al suolo (shake maps) relative agli eventi maggiori della sequenza sismica del 2016 (b) (fonte www.ingv.it)

anni '90 rappresentava sicuramente quanto di meglio era possibile produrre. Non erano state individuate e caratterizzate le principali faglie attive presenti in Italia, non si conoscevano o comunque erano ancora oggetto di ricerca scientifica diversi temi basilari riguardanti la meccanica delle faglie e dei terremoti. Ora non è così, le conoscenze scientifiche nell'ambito della Geologia dei Terremoti e della Sismologia, così come quelle riguardanti l'assetto sismotettonico del territorio italiano, sono di gran lunga migliorate, grazie anche all'esperienza maturata dalla comunità scientifica a seguito delle sequenze sismiche recenti a partire dall'Umbria-Marche del 1997-1998, L'Aquila del 2009, L'Emilia-Romagna del 2012 e Amatrice-Visso-Norcia del 2016 (Amato and Cocco Eds. 2000; Cello and Tondi Eds., 2000; Tondi *et al.* Eds., 2009; Pantosti and Boncio Eds., 2012; Anzidei and Pondrelli, Eds., 2016).

Sulla base delle conoscenze attuali, per quanto riguarda i terremoti più forti che si possono verificare in Italia, è possibile integrare utilmente i dati sui terremoti storici con quelli geologici e geofisici disponibili relativi alle faglie attive. Nota la posizione e le caratteri-

stiche geometriche e cinematiche delle faglie attive, è possibile procedere a valutazioni della pericolosità sismica mediante simulazioni del moto del suolo e conseguente valutazione delle relative accelerazioni (Fig. 8).

La simulazione del moto del suolo permette altresì di verificare gli effetti di direttività legati alla propagazione della rottura cosismica e tenere in considerazione le caratteristiche geologiche locali e quindi le informazioni provenienti dagli studi di microzonazione sismica. Queste informazioni sono necessarie per effettuare simulazioni corrette degli scenari di danno e, quindi, pianificare in maniera consapevole l'eventuale emergenza.

L'integrazione del dato geologico sulle faglie attive con quello proveniente dai cataloghi storici permetterebbe inoltre di valutare l'ultimo terremoto massimo associato alla faglia oggetto di studio e quindi alla zona sismogenica di riferimento. Di conseguenza, sarebbe possibile inserire il fattore tempo e quindi valutare la pericolosità sismica in maniera più realistica. Nelle aree dove la probabilità che si verifichi un terremoto distruttivo in tempi brevi risulta molto alta, occorrerebbe

agire in maniera prioritaria nella riduzione del rischio sismico, prevedendo disposizioni e normative simili a quelle che vengono applicate nella ricostruzione di aree terremotate, ma prima che si verifichi il sisma.

3. CONCLUSIONI

I terremoti dell'estate-autunno 2016 in Italia centrale hanno evidenziato ancora una volta l'impreparazione delle istituzioni e dei cittadini ad affrontare una crisi sismica importante.

Per poter sviluppare a livello nazionale un discorso avanzato di valutazione della pericolosità sismica, è necessario che i risultati della ricerca scientifica relativi alla Geologia dei Terremoti e alla Sismologia degli ultimi venti anni vengano estratti dai lavori scientifici e messi a disposizione per la gestione e sicurezza del territorio. Questo, oltre a consentire una valutazione più attendibile delle accelerazioni previste in 50 anni, sulla base delle informazioni relative alla ciclicità del processo deformativo delle faglie e della loro interazione meccanica, permetterebbe l'individuazione di aree in cui la probabilità che si verifichi il terremoto massimo previsto

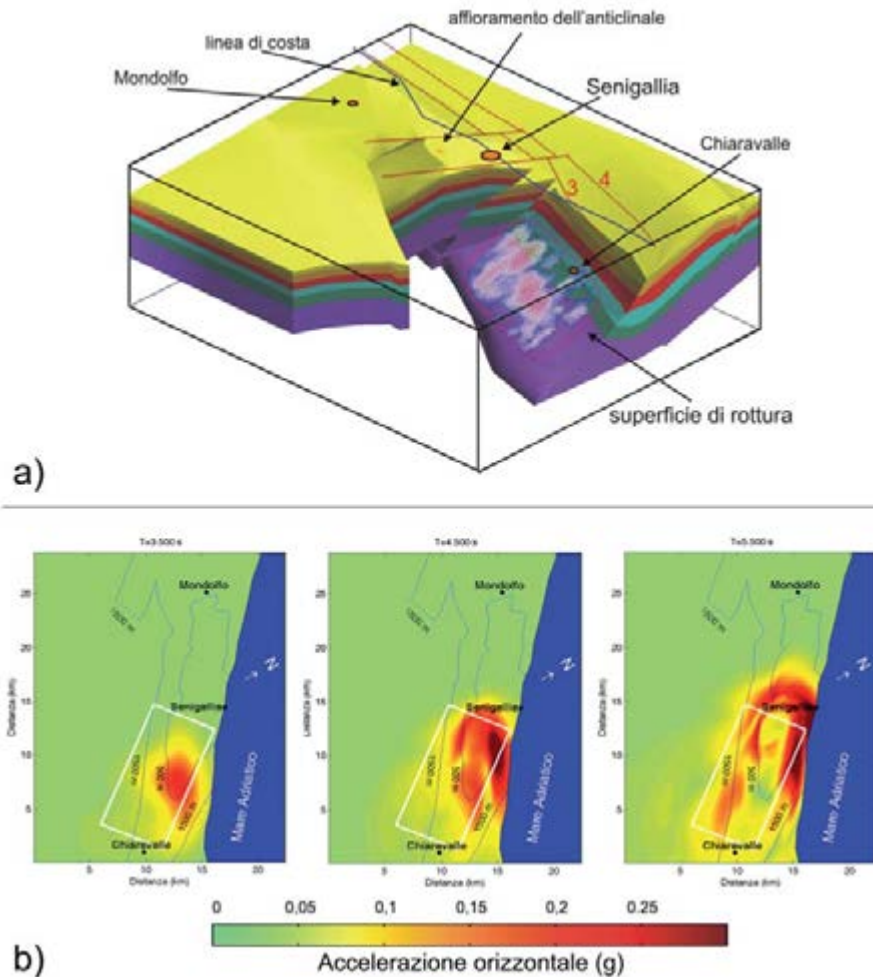


Figura 8 – Modello 3D geologico-strutturale, della zona di Senigallia (AN) (a); simulazione del moto del suolo visualizzata in pianta nei seguenti time-steps: 3,5; 4,5; 5,5 secondi dalla sorgente (b). Il rettangolo bianco mette in evidenza la faglia sismogenica e la variazione di colori da verde a rosso indica l'accelerazione orizzontale (frazione di g) crescente (Klin e Priolo, 2007, Laurenzano et al., 2008)

sia più alta di altre (la ricostruzione del ciclo sismico per l'Italia centrale indicava nel 2003 che quest'area sarebbe stata interessata a breve da un'importante crisi sismica, si veda Fig. 3). Solo in questo modo è possibile indicare le aree prioritarie dove sviluppare azioni urgenti di riduzione del rischio sismico.

A seguito degli eventi sismici che hanno colpito tragicamente il centro Italia, numerosi ricercatori appartenenti ad Enti di Ricerca, Università e Istituzioni italiane ed europee hanno sentito la necessità di un confronto aperto, anche sul campo, sui temi riguardanti l'analisi geologica finalizzata alla riduzione del rischio sismico. È stata quindi organizzata una conferenza internazionale itinerante "From 1997 to 2016: Three destructive earthquakes along the central Apennine fault system, Italy – International field trip", che si è svolta dal 19 al 22 luglio 2017 fra Camerino, Colfiorito, Norcia-Castelluccio e L'Aquila (http://convegni.unicam.it/TDEq_centralItaly). A conclusione della conferenza è stata condivisa la necessità di dotarsi in Italia di una carta ufficiale a livello nazionale delle faglie attive e capaci e successiva interpretazione in chiave sismogenica, un elaborato

più completo e omogeneo rispetto a quanto già disponibile e che veda la partecipazione e quindi la condivisione della comunità scientifica che opera nel campo della Geologia dei Terremoti. Tale documento, conterrebbe le informazioni necessarie per una valutazione più realistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, permettendo quindi una più efficace riduzione del rischio sismico.

BIBLIOGRAFIA

- AMATO, A., COCCO, M. (Eds.) (2000), *The Umbria-Marche, Central Italy, Seismic Sequence of 1997-1998*, Journal of Seismology, Special Issue, 4.
- ANZIDEI, M., PONDRELLI, S. (Eds.) (2016), *The Amatrice seismic sequence: preliminary data and results*, Annals of Geophysics, 59, Fast Track 5.
- BARCHI, M., GALADINI, F., LAVECCHIA, G., MESSINA, P., MICCHETTI, A.M., PERUZZA, L., PIZZI, A., TONDI, E., VITTORI, E. (2000), *Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti, Roma, 62 pp.
- CALAMITA F., PIZZI A. (1994), *Recent and active extensional tectonics in the southern Umbro-Marchean Apennines (central Italy)*, Mem. Soc. Geol. It., 48, 541-548. A.
- CELLO G., TONDI E. (Eds.) (2000), *The resolution of*

geological analysis and models for earthquake faulting studies". Journal of Geodynamics, Special Issue, 29 (3-5).

- CHIARALUCE, L., DI STEFANO, R., TINTI, E., 261 SCOGNAMIGLIO, L., MICHELE, M., CASAROTTI, E., CATTANEO, M., DE GORI, P., CHIARABBA, C., MONACHESI, G., LOMBARDI, A. M., VALOROSO, L., LATORRE, D., MARZORATI, S. (2017), *The 2016 Central Italy seismic sequence: a first look at the mainshocks, aftershocks and source models*. Seism. Res. Lett., 88 (3), 1-15, doi:10.1785/0220160221.
- CIVICO et al. et Open EMERGE Working Group (2017), *Surface ruptures following the 30 October 2016 Mw 6.5 Norcia earthquake, central Italy*. Journal of Maps.
- GALADINI F., GALLI P. (2003), *Paleoseismology of silent faults in the Central Apennines (Italy): the Mt. Vettore and Laga Mts. faults*. Annals of Geophysics.
- GALLI P., GALADINI F., CALZONI F. (2005), *Surface faulting in Norcia (central Italy): a "paleoseismological perspective"*, Tectonophysics, 403, 117-130.
- KLIN P., PRIOLO E. (2007), *Studio delle sorgenti sismogenetiche lungo la fascia costiera marchigiana - Simulazioni numeriche 3D del moto forte del suolo nell'area di Senigallia*. In: M. MUCCIARELLI, P.P. TIBERI (a cura di), *Scenari di pericolosità sismica della fascia costiera marchigiana - La microzonazione sismica di Senigallia*, Regione Marche e Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 215-225.
- LAURENZANO G., PRIOLO E., TONDI E. (2008), *2D numerical simulations of earthquake ground motion: examples from the Marche Region, Italy*. J Seismol. 12:395-412 DOI 10.1007/s10950-008-9095-1
- PANTOSTI, D., BONCIO, P. (Eds.) (2012), *Understanding the April 6th L'Aquila earthquake: the geological contribution*. Italian Journal of Geosciences, Special Issue, 131 (3).
- PIERANTONI, P.P., DEIANA, G., GALDENZI, S. (2013), *Stratigraphic and structural features of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy)*. Italian Journal of Geosciences 132 (3), 497-520.
- ROVIDA, A., LOCATI, M., CAMASSI, R., LOLLI, B., GASPERINI P. (2016), *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earth-quakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>
- TONDI, E., (2000), *Geological analysis and seismic hazard in the Central Apennines*. Journal of Geodynamics, 29, 517-534.
- TONDI, E., CELLO, G. (2003), *Spatiotemporal Evolution of the Central Apennines Fault System (Italy)*. Journal of Geodynamics, 36, 113-128.
- TONDI E., CHIARALUCE L., ROBERTS G. (Eds.) (2009), *Ten years after the Umbria-Marche earthquake*. Tectonophysics, Vol. 476, Special Issue 1-2.
- WEDMORE, L. N. J., FAURE WALKER J. P., ROBERTS G. P., SAMMONS P. R., McCAFFREY K. J. W., COWIE P. A. (2017), *A 667 year record of coseismic and interseismic Coulomb stress changes in central Italy reveals the role of fault interaction in controlling irregular earthquake recurrence intervals*, J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, doi:10.1002/2017JB014054
- WILKINSON M., MCCAFFREY K. J. W., JONES R. R., GERALD P. R., HOLDSWORTH R. E., GREGORY L. C., WALTERS R. J., WEDMORE L., GOODALL H. AND IEZZI F. (2017), *Near-field fault slip of the 2016 Vettore Mw 6.6 earthquake (Central Italy) measured using low-cost GNSS*. Scientific Reports, doi:10.1038/s41598-017-04917-w