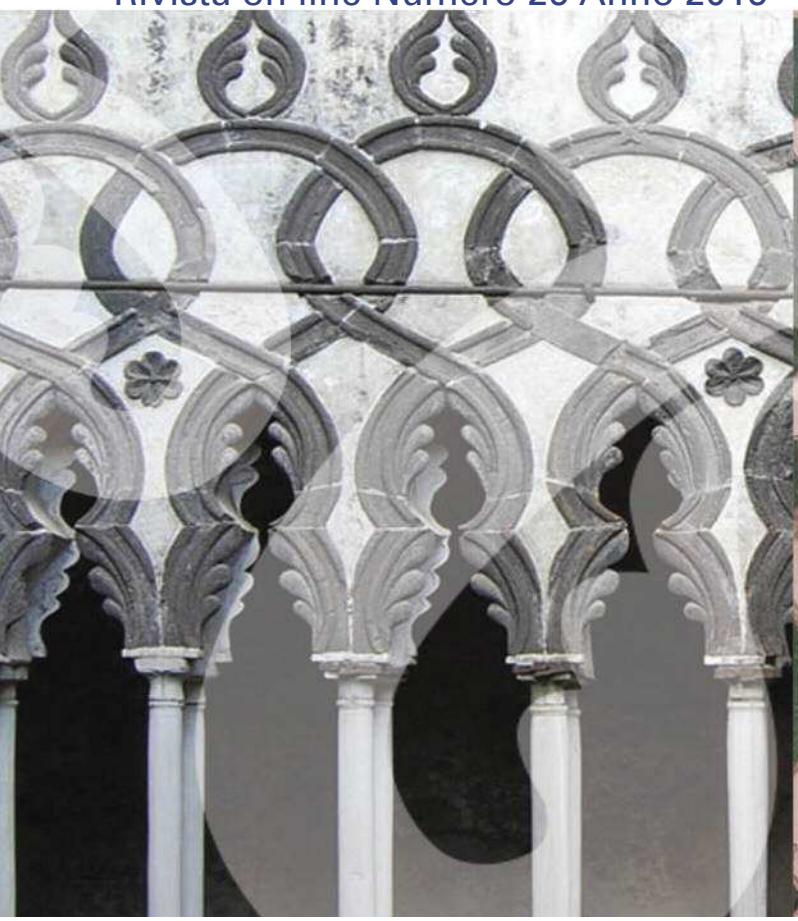
Centro Universitario Europeo
per i Beni Culturali

Ravello

Territori della Cultura

Rivista on line Numero 26 Anno 2016

Iscrizione al Tribunale della Stampa di Roma n. 344 del 05/08/2010



Sommario

Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali
Ravello

Comitato di redazione 5

Ravello Lab 2016. Una prima sintesi.
Alfonso Andria 8

Il turismo in Italia tra Stato e Regioni.
Un tema antico ma attuale
Pietro Graziani 10

Conoscenza del patrimonio culturale

Jean-Noël Salomon L'importance de la connaissance des matériaux en archéologie : l'exemple du rôle des cuirasses ferralitiques du site d'Angkor (Cambodge) 14

Cultura come fattore di sviluppo

Gaetano Miarelli Mariani Formazione del personale addetto ai beni culturali (settore architettonico-ambientale) 26

Gianni Bulian Il museo dell'Aquila: un'occasione perduta? 40

Metodi e strumenti del patrimonio culturale

Bruno Zanardi Ragioni della mancata tutela del patrimonio artistico italiano 74

Piero Pierotti Terremoti appenninici, patrimonio edilizio, resilienza. Il paradosso della "messa a norma" 100

Ferruccio Ferrigni L'edificato antico: insieme fragile o fonte di conoscenze? 126

Appendice

Ravello Lab 2016: Cultura e sviluppo. Progetti e strumenti per la crescita dei territori.

Copyright 2010 © Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali

Territori della Cultura è una testata iscritta al Tribunale della Stampa di Roma.
Registrazione n. 344 del 05/08/2010

Comitato di Redazione

Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali
Ravello

Presidente: Alfonso Andria — comunicazione@alfonsoandria.org

Direttore responsabile: Pietro Graziani — pietro.graziani@hotmail.it

Direttore editoriale: Roberto Vicerè — rvicere@mpmirabilia.it

Responsabile delle relazioni esterne: Salvatore Claudio La Rocca — sclarocca@alice.it

Comitato di redazione

Jean-Paul Morel Responsabile settore "Conoscenza del patrimonio culturale" — jean-paul.morel3@libertysurf.fr; morel@mmsh.univ-aix.fr
Claude Albore Livadie Archeologia, storia, cultura — alborelivadie@libero.it
Max Schvoerer Scienze e materiali del patrimonio culturale — schvoerer@orange.fr
Beni librari, documentali, audiovisivi

Francesco Caruso Responsabile settore "Cultura come fattore di sviluppo" — francescocaruso@hotmail.it
Piero Pierotti Territorio storico, ambiente, paesaggio — pierotti@arte.unipi.it
Ferruccio Ferrigni Rischi e patrimonio culturale — ferrigni@unina.it

Dieter Richter Responsabile settore "Metodi e strumenti del patrimonio culturale" Informatica e beni culturali — dieterrichter@uni-bremen.de
Matilde Romito Studio, tutela e fruizione del patrimonio culturale — matilde.romito@gmail.com
Adalgiso Amendola Osservatorio europeo sul turismo culturale — adamendola@unisa.it

Segreteria di redazione

Eugenia Apicella Segretario Generale — apicella@univeur.org
Monica Valiante
Velia Di Riso
Rosa Malangone

Progetto grafico e impaginazione

Mp Mirabilia - www.mpmirabilia.it

Info

Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali
Villa Rufolo - 84010 Ravello (SA)
Tel. +39 089 857669 - 089 2148433 - Fax +39 089 857711
univeur@univeur.org - www.univeur.org

Per consultare i numeri precedenti e i titoli delle pubblicazioni del CUEBC: www.univeur.org - sezione pubblicazioni

Per commentare gli articoli: univeur@univeur.org

Main Sponsors:

ISSN 2280-9376

Terremoti appenninici, patrimonio edilizio, resilienza. Il paradosso della "messa a norma"

Piero Pierotti

Piero Pierotti, componente Comitato Scientifico CUEBC

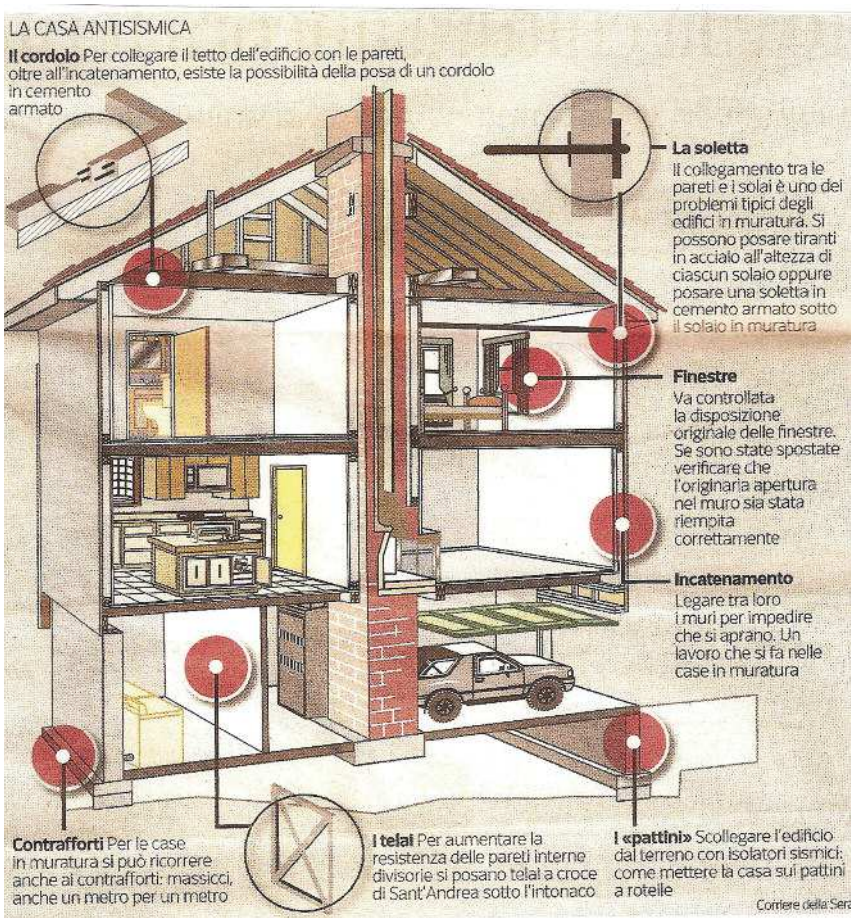
Informazione e disinformazione

Gragnola è un paese lunigianese – vecchie case e edifici più recenti – posto presso l'Aulella, l'affluente del fiume Magra che scorre nel solco di due massicci che si fronteggiano: quello delle Alpi Apuane e l'Appennino Toscoemiliano. Nella bottega della verduraia si discute del terremoto che ha colpito Amatrice tre giorni prima. "Hanno detto gli americani che le nostre case vecchie sono pericolose, col terremoto vengono giù".
Siamo in piena stagione turistica. Le cassette della verduraia sono già mezze vuote. Nei paesi di mezza costa, semiabbandonati dalla popolazione locale, il turismo è una risorsa estrema e il danno d'immagine non è lieve. Denise Ulivieri, la nota studiosa di architettura vernacolare, si trova a New York e me lo conferma: "Dall'Italia sta arrivando discredito sul nostro patrimonio edilizio! Sono sconfortata".

Gragnola (Lunigiana), vecchia bottega.

Infatti è così. I primi commenti comparsi sulle pagine dei giornali italiani insistono, anche con citazioni autorevoli, sul consueto luogo comune. Le case vecchie non sono antisismiche, sono costruite malamente, non sono state messe in sicurezza, sono fuori norma e così via. A New York hanno messo la bandiera a lutto sul World Trade Center per le vittime italiane, quando vedono un italiano gli chiedono informazioni, mostrano una premura estrema nei nostri confronti ma il messaggio distorto, confezionato dalle agenzie, è stato rilanciato e amplificato. Poi è rimbalzato in Italia, reso più autorevole dalle preoccupazioni diventate internazionali.
Nel terremoto del giugno 2013 (M Richter 5.2) il vecchio abitato di Gragnola, che si trovava in zona epicentrale e in una posizione geomorfologica non proprio favorevole, non aveva subito danni. Non vi erano stati feriti, come del resto in tutta l'area colpita dal

sisma. Il maestoso castello dell'Aquila, che domina il paese e la valle, neppure si era accorto. Tuttavia le vecchie costruzioni sono guardate anche qui come se fossero a rischio: "Lo hanno detto gli americani".
Rèusa: pochi chilometri a nord, sul versante opposto della valle dell'Aulella. Anche qui il paese non ebbe danni, nel terremoto del 2013. Vi furono dei franamenti nelle vie d'accesso, ma la chiesa è intatta con il suo campanile. Perfino la canonica, già cadente per effetto dell'abbandono, non si era mossa. Proprio lì a confine, un po' di anni orsono, un cittadino americano si era comprato una piccola fattoria, trasformandola in residence. Il complesso dei fabbricati si apre a sud, sui campi coltivati a prato e vigneti, verso un paesaggio pieno di sole. Siamo sulle ultime propaggini dell'Appennino. Il massiccio delle Apuane, visto da qui, sfuma in azzurro. Nel residence c'è il tutto esaurito.
Una pittrice inglese si è innamorata di una villetta in paese ed è riuscita ad acquistarla. Vi si è stabilita, dopo il terremoto del 2013. La signora che ci informa della situazione è molto disponibile e gentile, sembra contenta di poter parlare in italiano con italiani. Poco fuori dell'abitato il ristorante di un agriturismo non ha un tavolo libero. Anche qui il rumore di fondo è poliglotta. Con dieci euro si può consumare un primo, un secondo (cucinati bene), acqua e vino (buono). Si sballa col dolce (due euro). I terremoti dell'Appennino centrale? Lontanissimi.
A quale dei due modi di sentire si può aderire? La stampa quotidiana italiana non aiuta. Come di regola accade, nell'immediatezza di un evento disastroso, le pagine importanti si trasformano in una sorta di galleria dei rimedi antisismici: tutto ciò che si poteva fare, tutto ciò che non si è fatto e soprattutto come trovare la soluzione definitiva. Sorge il dubbio spontaneo che le soluzioni offerte siano tutte preconfezionate, già pronte a presentarsi alla prima inevitabile occasione. Compaiono, visualizzati con la stessa tempestività, anche modelli disegnati di "casa antisismica", non si sa se validati, ingenerando la rischiosa illusione che soluzioni sicure possano esistere e magari essere trasferite speditivamente in norme di legge (di massima si evitano attribuzioni così poco prudenti e si preferisce parlare di "mitigazione del rischio").
L'orientamento dell'informazione, almeno sul momento, sembra organizzato in larga misura dai press agent. Già il 25 agosto cominciano ad apparire titoli del genere: "In Italia il 70% delle costruzioni non rispetta le regole antisismiche". Da



"Casa antisismica": la definizione è illusiva e non dovrebbe essere usata. Si preferisce parlare di "mitigazione del rischio" per indicare il complesso degli accorgimenti che servono a ridurlo (da "*Corriere della Sera*", 25 agosto p. 15).

Ghivizzano (Valdiserchio). La chiusura o la riduzione delle aperture furono imposte anche sull'edificato esistente, in applicazione della legge sismica nazionale del 1920.

dove può provenire un'affermazione giornalistica così precisa e altrettanto categorica?
Presumibilmente essa è stata ripresa da un rapporto realizzato nel 2012 dal Cresme (Centro ricerche economiche e sociali del mercato dell'edilizia) in collaborazione con l'ANCE (Associazione nazionale dei costruttori edili). "Lo stock abitativo delle zone a maggior rischio sismico risulta molto vetusto. Il 74% degli edifici residenziali, pari a 3,8 milioni di immobili, è stato costruito prima della piena operatività della normativa antisismica per nuove costruzioni. Di questi 3,1 milioni di edifici abitativi si trovano in zona 2 e poco meno di 700mila in zona 1": così recita il comunicato dell'Ance. La normativa antisismica cui si fa riferimento è la legge 2 febbraio 1974, n. 64, "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
Questa informazione, così frettolosamente trasferita, non è per niente oggettiva e può indurre in chi legge tre fraintendimenti, di devianza non lieve, e cioè:

1. Prima di quella data non esisteva in Italia nessuna normativa sismica per la costruzione del nuovo;
2. La normativa sismica che decolla nel 1974 costituisce una soglia netta di demarcazione tra ciò che è sicuro e ciò che non lo è;
3. Senza distinguere tra le variabilissime tipologie dell'edificato già esistente, si esprimono giudizi di vulnerabilità non in termini qualitativi e specifici ma in ragione della vetustà del costruito.

A queste valutazioni conseguono stime non meno virtuali circa la spesa che sarebbe necessaria per mettere tutto in sicurezza. Secondo quelle fatte dal Consiglio nazionale degli ingegneri nel 2013, basandosi sui dati Istat, Cresme e Protezione Civile, servirebbero circa 93,7 miliardi di euro. Sempre al 2013 risale un'altra stima, quella dell'associazione degli ingegneri e degli architetti Oice, secondo cui, per mettere in sicurezza solo gli edifici a elevato rischio sismico (quelli cioè che si trovano in una zona che occupa circa il 44 per cento della superficie italiana) servirebbero 36 miliardi di euro. La discriminante resta comunque la medesima: quella della vetustà. E la richiesta conseguente non si discosta dalla consueta ovvietà: servono ancora molti, moltissimi soldi.
Dal 1974 al 2016 corrono quarant'anni. Durante questo periodo l'obbligo di sottoporre a visto del Genio Civile ogni tipo di edificazione realizzata nei comuni dichiarati a rischio sismico

è diventato effettivo e, anzi, è stato applicato rigidamente, sia per la costruzione del nuovo sia in caso di ristrutturazione dell'esistente. Si può integrare ricordando che l'obbligo di condurre determinati lavori di "messa in sicurezza" dell'edificato – anche quello non danneggiato – già vigeva in certe aree per effetto dalla prima legge sismica nazionale, emanata il 9 maggio 1920 a seguito del terremoto di Messina del 28 dicembre 1908. Nel frattempo, sia nel "vetusto" sia nel "nuovo" sia nel "messo a norma", si sono susseguiti crolli anche disastrosi. Non si può prescindere da questa premessa oggettiva quando si affronta un argomento vitale come quello degli effetti del sisma.

"Mettere a norma": con quali criteri?

Il 3 e 4 novembre 2015 si svolse presso la sede dell'Accademia dei Lincei a Roma, organizzato dalla sezione scientifica della stessa Accademia, un convegno intitolato "Resilienza delle città d'arte ai terremoti". Fu un convegno di confronto tra convinzioni diverse, sicuramente non facile ma aperto, e sicuramente molto utile in termini di aggiornamento (teorie e verifiche applicative). Sono state valutate alcune prospettive che hanno cominciato a definirsi con credibilità accettabile – per il momento non sul piano normativo ma molto concretamente nel campo della ricerca avanzata – in tema di protezione e di prevedibilità dei terremoti.[1] Con la mia relazione stavo appunto sviluppando il tema, relativamente recente, della sismografia storica e illustravo i metodi con cui l'osservazione diretta del comportamento sismico dell'edificato esistente poteva fornire informazioni circa i modi di ridurne la vulnerabilità o, quanto meno, di non accrescerla con interventi impropri. Mostravo in diapositiva e citavo il caso di un edificio di Sellano (Umbria) in cui un tetto in armatura di cemento, sovrapposto alla muratura ordinaria, nel terremoto del 1997 era crollato conservandosi integro come struttura ma sbriciolando completamente il piano sottostante. Il mio intento era di rendere visibile e discutere le ragioni di questo fenomeno, del resto non isolato, avvenuto in tali condizioni.
Non mi aspettavo, nella severa cornice di un convegno linceo, di essere interrotto dal fondo della sala da un professionista (immagino) il quale mi gridava che gli edifici che stavo mostrando non erano a norma. "A norma o non a norma –

[1] Gli atti relativi sono in corso di stampa mentre sto scrivendo. Ne esiste anche la registrazione integrale, che si può cercare in rete
(https://www.youtube.com/watch?v=e2gChhNkAp8)

obiettai – il meccanismo di ciò che è accaduto è visibile con chiarezza e senza possibilità di equivoci". Ero confortato da una serie di esperienze. Avevo osservato di persona e nell'immediatezza dell'evento (terremoto di Equi Terme, giugno 2013, M Richter 5.2) movimenti simili dell'edificato, ancorché non seguiti da crollo. Inoltre l'immagine che mostravo, raffigurante una palazzina ristrutturata poco prima dell'evento sismico e quindi provvista presumibilmente dell'autorizzazione del Genio Civile, era tratta da uno studio ufficiale, realizzato dalla regione Umbria.[2] Le stesse riproduzioni erano state proiettate e discusse in numerosi convegni sul medesimo tema: insomma, un classico.

La citavo come precedente noto di un episodio ben più grave – il crollo della scuola elementare di San Giuliano di Puglia (31 ottobre 2002) – avvenuto anch'esso per effetto dello sgretolamento della muratura ordinaria indotto da una sopraelevazione in calcestruzzo armato. La domanda che proponevo era se questi effetti fossero dovuti solo a un sovraccarico o anche legati al diverso comportamento sismico dei materiali. Il dubbio di fondo, che preferii non esprimere apertamente per non essere inquietante di proposito, era invece il seguente: non vi era stata in quell'occasione nessuna autorizzazione del Genio Civile. Essa non necessitava (amministrativamente) perché il comune di San Giuliano non era ancora compreso nell'elenco di quelli considerati a rischio. Tuttavia, se esso vi fosse già stato incluso, siamo certi che, normativa alla mano, il visto sarebbe stato rifiutato? In quale misura possiamo essere sicuri che il rispetto di un obbligo amministrativo corrisponda a un'effettiva "messa in sicurezza"? Siamo cioè assolutamente convinti che seguire la norma nazionale corrisponda all'optimum della protezione antisismica? E, infine, che cosa intendono concretamente tutti coloro che enunciano il concetto di messa in sicurezza e, anzi, lo invocano puntualmente subito dopo ogni evento disastroso, come se fosse cosa nota, assodata, verificata?

Ritengo che, dagli studi condotti in tema di sismografia storica da me e dai miei collaboratori, sia talora emerso il contrario. Conducemmo il nostro primo lavoro sistematico sull'edificato storico di Lunigiana e Garfagnana, operando su un data base di oltre duemila immagini.[3] Il principale termine statistico di riferimento era il terremoto che aveva colpito l'area il 7 settembre 1920, con le relative distruzioni e riparazioni. Arrivammo alla conclusione che la "messa a norma" conseguente

[2] *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici*, a cura di Francesco Gurrieri, Regione Umbria, Roma, Tipografia del Genio Civile, 1999. Ne tratteremo più avanti poiché si tratta di un testo fondamentale.

[3] P. Pierotti (ed.), *Manuale di sismografia storica. Lunigiana e Garfagnana*, Edizioni Plus – Pisa University Press, 2003.

all'evento aveva di fatto accresciuto la vulnerabilità della casa tipica lunigianese e rappresentammo i risultati complessivi in questa tabella, con l'immagine corrispondente:[4]

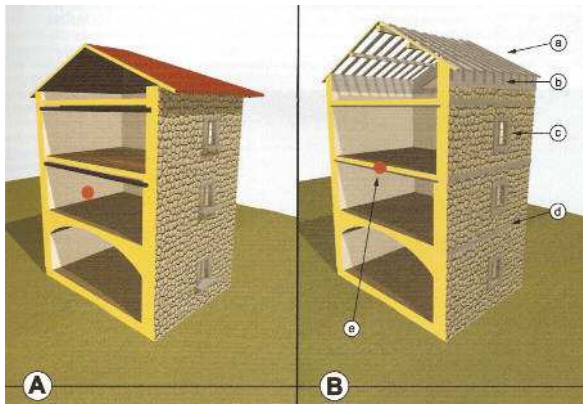
Casa lunigianese	**tipologia originaria**	**tipologia ristrutturata**
materiali impiegati	3 (legno, pietra, calce)	6 (pietra, calce, cemento, laterizio, acciaio, mattonelle da pavimento)
smorzamento	elevato	nullo
baricentro	basso	alto
duttilità degli orizzontamenti	buona	nulla
risposta alle multifrequenze	modesta	elevata
rigidezza	modesta	elevata, meno che nella muratura ordinaria residua
vulnerabilità a parità di energia liberata	danneggiamenti locali	sconnessione della muratura ordinaria e possibile collasso totale con schiacciamento.

Come si legge nella terza colonna, i risultati verificabili in circa ottant'anni di vigenza della normativa e di imposizioni corrispondenti da parte degli organi amministrativi, non ci apparivano coerenti con le intenzioni. Inoltre, riassumendo

Sellano (Umbria). Il terremoto del 1997 provocò questo fenomeno di demolizione della muratura ordinaria con schiacciamento da parte del tetto rigido (manca l'ultimo piano della villetta).

[4] Ivi, p. 18 e 19.

San Giuliano di Puglia, crollo della scuola: demolizione della muratura ordinaria per effetto della sopraelevazione in calcestruzzo armato.



Il grafico rappresenta il presumibile incremento del rischio nella casa tipica lunigianese per effetto della "messa a norma" imposta dalla legge.

più in generale i risultati dell'intera indagine e sempre con riguardo agli effetti indotti da variazioni di stato anche non relativi alla "messa a norma", avevamo elaborato una seconda tabella di valutazione delle azioni e delle loro conseguenze:[5]

eliminare le strutture spingenti (archi e volte)	**errato**, specie se fatto indiscriminatamente
rimuovere archi e volte di contrasto che attraversano gli spazi pubblici	**errato**
tendere catene	**efficace**
sostituire orizzontamenti in legno con diaframmi in laterizio armato	**errato**
appoggiare tetti in armatura di cemento sulla muratura ordinaria	**letale**
inserire cordoli cementizi di copertura o di piano nella muratura ordinaria	**errato**
rimuovere rinforzi, contrafforti esterni, corpi appoggiati	**pericoloso**
consentire i contatori esterni incassati	**pericoloso,** specie se presso le porte o i cantoni
consentire nuove espansioni dell'abitato ai piedi del vecchio insediamento su terreni di deposito recente	**letale**
inserire telai di cemento o acciaio nella muratura ordinaria per irrigidire porte e finestre	**inutile o pericoloso**
inserire irrigidimenti di vario genere che riducano la duttilità complessiva dell'edificio	**errato**

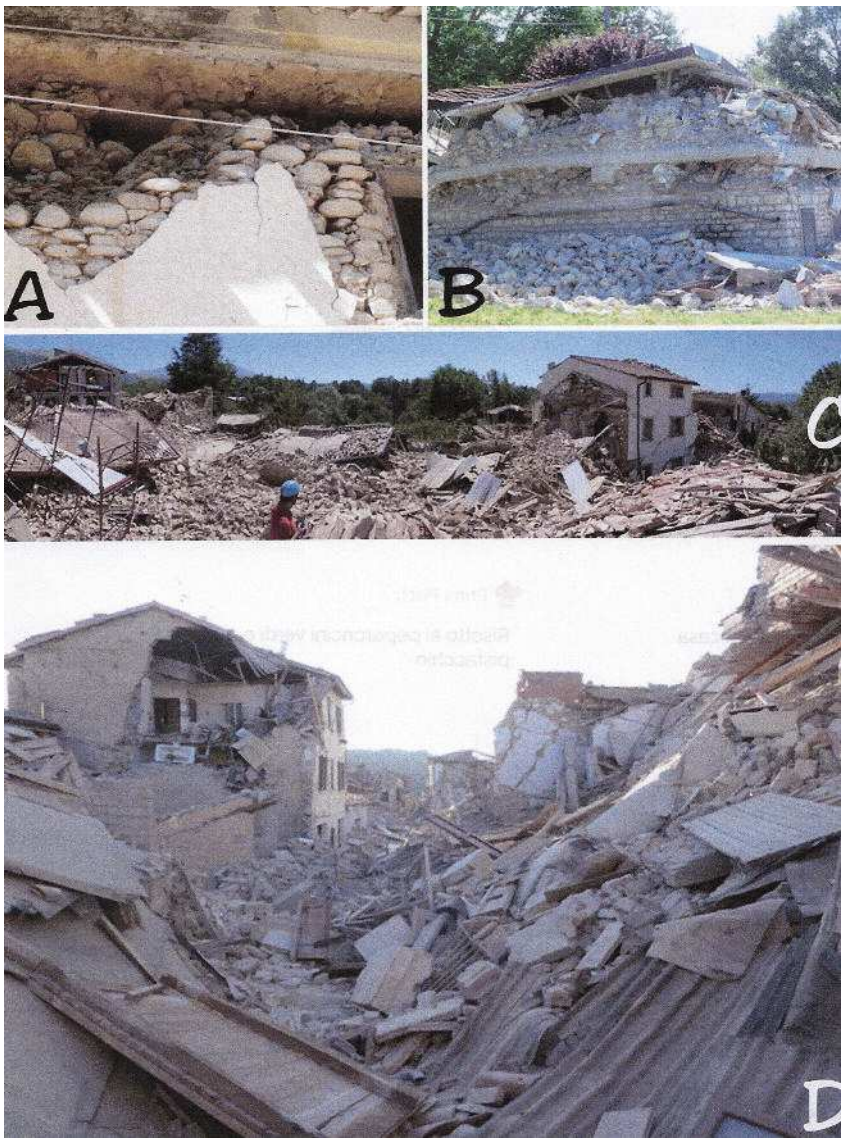
[5] Ivi, p. 40.

Come si può leggere nella seconda colonna della tabella, in due casi della previsione si ricorre al termine "letale". Purtroppo i terremoti dell'agosto e dell'autunno 2016 nell'Italia centrale ci hanno consentito una verifica amara di queste ipotesi estreme.

Amatrice

Non esistono certezze matematiche quando si affronta il tema del comportamento sismico dell'edificato esistente, perché le incognite iniziali e le variabili che vi si aggiungono superano il limite di qualunque metodo di calcolo. Meno che mai esiste la possibilità, logica e materiale, di normare con leggi nazionali l'intera materia. Ogni singolo edificio ha la sua storia, che si lega con la storia del terreno superficiale sul quale si fonda il quale, a sua volta, in caso di terremoto si rapporta ai movimenti profondi della litosfera. L'unico strumento di conoscenza che possiamo attivare, in superficie, è l'osservazione sistemica dell'epifenomeno: quella che, appunto, abbiamo chiamato sismografia storica. Essa comporta non solo la lettura delle informazioni che si ricavano dal modo di presentarsi dell'edificato ma anche l'analisi degli effetti che questo subisce nel corso di un evento sismico. La lezione di Amatrice, dolorosissima, non può essere trascurata.
Cominciamo dal numero delle vittime: 299 complessivamente nell'area, 232 nella sola Amatrice.[6] Cerchiamo di individuare, in quanto possibile al momento, le premesse materiali che esistevano per una simile strage, così localizzata, partendo dagli effetti di sito.
La storia di Amatrice è molto antica (preromana, sicuramente). La storia dell'abitato, come sempre accade, è relativamente più recente e progressiva. Dalla foto aerea si riconosce la struttura planimetrica di una città fondata, regolare nell'organizzazione della viabilità già all'origine o regolarizzata nel tempo. Poiché si tratta di un insediamento di altura, se ne può dedurre che, per il suo accrescimento in piano, sia stata sbancata la collina o pareggiato un pendio. In questi casi il comportamento sismico dei terreni di appoggio non è ovunque lo stesso, anche in aree così limitate: nell'estensione dell'abitato, se costruito su accumuli successivi, – "terreni smossi" – gli effetti di amplificazione dell'onda sismica sono più sensibili e possono generare crolli più importanti. Ciò si può ricavare

[6] Ricavo il dato dalla stampa quotidiana (novembre 2016) ma lo considero attendibile, o almeno accettabile come ordine di grandezza.



Amatrice e dintorni, varie tipologie di crollo. A. Muratura in ciottoli di fiume (Sant'Angelo); B. Crollo totale di un edificio in muratura ordinaria con solai in c.a., sgretolamento con schiacciamento (San Lorenzo e Flaviano); C. Distruzione pressoché totale (Petrana); D. Distruzione pressoché totale (Amatrice, area centrale). Immagini tratte da *La distruzione di Amatrice e delle sue ville. Distribuzione delle intensità mcs del terremoto del 24 agosto 2016*, autori vari. 35° Convegno GNGTS, *Riassunti estesi delle comunicazioni*, p. 49.

anche visivamente dall'osservazione dei danni che vi sono stati e soprattutto dalla loro distribuzione.
I risultati delle prime analisi sembrano confermare questa ipotesi[7] ma preferisco fermarmi qui, in mancanza di una verifica più dettagliata in tema di microzonazione. Il richiamo mi serve per ricordare che si tratta di problematiche entrate solo di recente nella cognizione e nell'applicazione degli organi amministrativi, ben dopo il 1974.
In occasione del terremoto del Molise (2002), la Protezione Civile aveva fatto evacuare la parte alta di San Giuliano di Puglia, che si presentava generalmente indenne, e non l'ampliamento periferico sorto alla sua base, vistosamente danneggiato anche nelle costruzioni recenti (qui si verificò appunto il crollo della scuola). Il paese alto era costruito su uno sperone di roccia e la parte bassa su terreni smossi, ma evidentemente l'equazione "vetusto = a rischio" prevaleva ancora sull'osser-

[7] ***Sono stati presentati al XXXV Convegno Nazionale GNGTS*** (Gruppo Nazionale per la Geofisica della Terra Solida), ***Lecce 22-24 novembre 2016, che ha dedicato una sessione apposita al terremoto di Amatrice.***

vazione oggettiva. Solo dopo questo episodio vi fu un ravvedimento e iniziò a proporsi per tutto il territorio italiano un piano di microzonazione riguardante le caratteristiche dei terreni, la cui elaborazione è peraltro tuttora in corso e non ovunque con gli stessi ritmi. Siamo dunque in una fase di studio e di acquisizione di dati, non di definizione delle modalità di intervento, che dovranno rispondere a un quesito non facile: come cercare soluzioni idonee per l'edificato esistente (anche quello recente) costruito su terreni smossi?
La più estesa (e verificabile) ragione del disastro di Amatrice emergeva invece dall'incredibile quantità di elementi cementizi che erano stati inseriti nella muratura ordinaria, presumibilmente proprio nell'intento di "metterli a norma" e, altrettanto presumibilmente, per imposizione del Genio Civile. I primi che accorsero sulla scena del disastro non avevano dubbi sulle cause: "basta vedere che cosa è venuto giù". Compaiono anche pareri autorevoli. Racconta per esempio al *New York Times* Gianpaolo Rosati, professore d'ingegneria del Politecnico di Milano, che molte vecchie abitazioni dell'Italia centrale sono state ristrutturate in modo sbagliato nel corso degli anni: essendo antiche avevano spesso tetti originali in legno, che negli anni sono stati sostituiti con strutture più pesanti, che poi hanno contribuito a rendere più fragili gli edifici. Ma si tratta solo di pesantezza?

Amatrice, Hotel Roma, prima e dopo l'evento.

Materiali in risonanza

I settori disciplinari nei quali ognuno di noi conduce la sua ricerca si sono fatti col tempo molto rigidi: così rigidi che talvolta non consentono un trasferimento agile di conoscenze da un settore all'altro. Quando ci troviamo di fronte a fenomeni complessi come il terremoto, che sollecitano cognizioni di ogni genere in campi diversi dello scibile, è anche possibile che comportamenti noti per alcuni studiosi risultino ignoti ad altri o, più semplicemente, che a essi non conferisca sufficiente affidabilità

chi non è solito trattarli scientificamente. Il fenomeno della risonanza è uno di questi.
Quando in un'orchestra un violino dà la nota, gli orchestrali che dispongono di strumenti analoghi li accordano con quella, trovando sulle loro corde la stessa vibrazione. Non la sentono con le orecchie: la percepiscono al tatto. Per un orchestrale si tratta di una risposta abituale, priva di complessità. Nessuno considera eccezionale che le corde di strumenti diversi vibrino in sincrono senza essere a contatto fra loro. Ovviamente l'effetto è conseguenza della struttura (la corda tesa) ma anche del materiale che la compone: se la corda fosse di canapa esso non si verificherebbe.
Supponiamo dunque che il medesimo fenomeno accada non in conseguenza del delicato scorrere di un archetto su una corda ma per effetto dello sfregamento tra due faglie e che l'energia trasmessa in questo modo sia proporzionale alle forze in gioco. Otterremmo una vibrazione indotta di notevole potenza, in grado di sbriciolare la muratura ordinaria, se emessa da un corpo più rigido che vi è inserito. Anche quando si tratta di edificato la risonanza può agire indipendentemente dall'attrito, ossia dal contatto diretto fra due corpi solidi.
La risonanza è un fenomeno proprio di tutti i sistemi capaci di oscillazioni libere. Si manifesta quando il sistema, sottoposto all'azione di forze periodiche esterne, compie oscillazioni forzate. Ciò avviene quando la frequenza delle oscillazioni esterne è vicina a una delle frequenze "proprie" del sistema. La frequenza delle oscillazioni forzate è la stessa delle onde che la provocano; non così l'ampiezza. In mancanza di smorzamento, l'ampiezza delle vibrazioni cresce rapidamente man mano che il valore della frequenza inducente si avvicina a quello della frequenza propria, fino a diventare elevatissima in corrispondenza della sovrapposizione dei due valori e – in teoria – infinita. Non si aggiunge nuova energia al sistema. Anche per questa ragione accade che terremoti di pari magnitudo possano avere effetti assai diversi sull'edificato, in rapporto alla loro struttura e ai materiali impiegati.
Ciò premesso, c'è qualche elemento che in tali condizioni, sperimentalmente, può favorire il fenomeno della risonanza in caso di terremoto? Ebbene sì, c'è, e lo conosciamo bene. Il cemento, a confronto con altri materiali, mostra di avere più probabilità di entrare in risonanza. Le frequenze proprie delle strutture a telaio in cemento armato (come quelle più comuni, dai tre ai dieci piani) hanno periodi fondamentali compresi

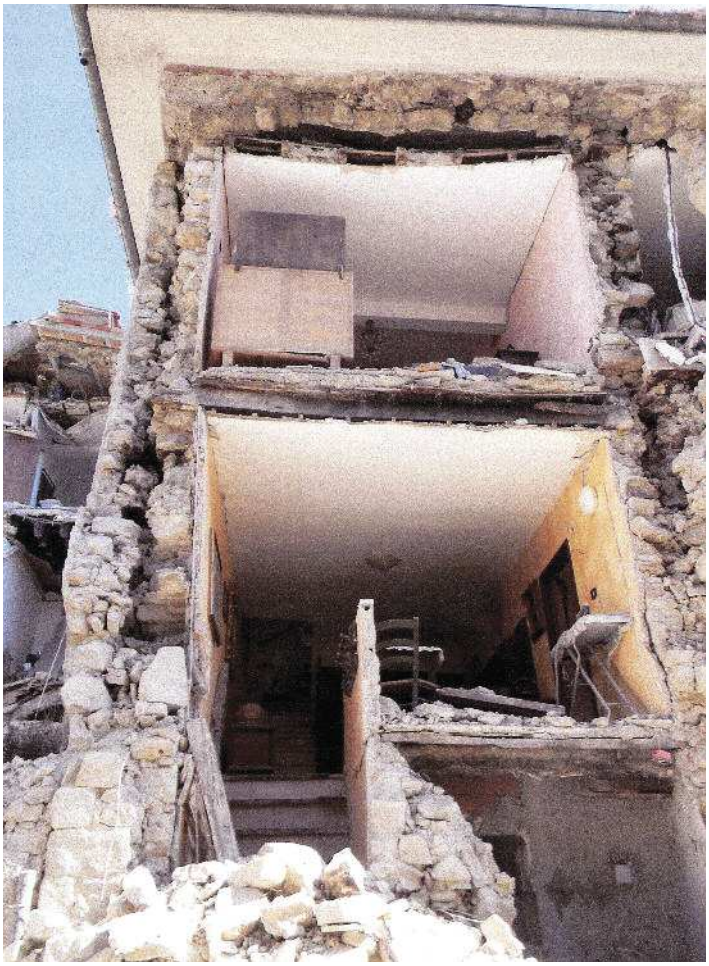
approssimativamente tra 0,3 e 1 sec., coincidenti con la maggior parte della frequenza dei terremoti. Da ciò può derivare il fenomeno della risonanza in campo elastico, con i noti effetti di amplificazione. In tali casi le strutture possono trovarsi sollecitate a ogni livello e ben oltre la soglia della prevedibilità e della calcolabilità.[8]

Quando una struttura a telaio è inserita dentro o abbinata a elementi in muratura, che hanno frequenze proprie diverse, tende a vibrare indipendentemente da quelli e gli effetti possono essere devastanti. Uno degli edifici di Amatrice in cui si ebbero più vittime fu l'hotel Roma, uno dei simboli della città, il luogo deputato della pasta all'amatriciana. Dall'edificio (tre piani fuori terra di aspetto esterno tradizionale), dopo la rovina si misero in mostra pilastri di cemento imponenti, che sarebbero stati in grado di sostenerne uno di elevazione molto maggiore. Non si trattava certo di una struttura "debole" ed è quasi impossibile spiegare le demolizioni con schiacciamento a terra provocate da quei pilastri senza riferirli a effetti di risonanza. Del resto anche la scuola "Capranica", crollata benché consolidata tre anni prima, aveva una parte in struttura di cemento e un'altra lasciata in muratura ordinaria. In casi come questi una Procura della Repubblica apre patetici fascicoli che vanno a cercare il colpevole negli ultimi sfortunati che hanno messo una firma. Può essere che qualche responsabilità ci sia, ma di regola le ragioni vere stanno altrove e sono assai più complesse di una semplice omissione. La dimostrazione sta proprio nella grande quantità di architettura minuta crollata nel centro storico e nella corrispondente quantità di elementi cementizi caduti in terra o rimasti in sospensione sopra le pareti, esplose in fuori come nel caso di Sellano. Non approfondendo si perderebbe un'occasione (speriamo irripetibile) per cercare di capire.

L'ISI (Associazione ingegneria sismica italiana) redasse un breve resoconto fotografico, realizzato ad Amatrice il 27 e 28 agosto. "Dato l'interesse elevato per il drammatico evento sismico che ha visto l'apparizione su molti mezzi di informazione di fotografie e commenti talvolta di discutibile utilità, si è inteso mettere a disposizione le immagini raccolte per la comunità degli ingegneri e dei tecnici al fine di poter fare delle proprie considerazioni alla luce dell'osservazione delle stesse". Le immagini hanno a corredo brevi note, con l'avvertenza – ovvia – che esse "devono essere considerate puramente indicative e preliminari, non hanno la pretesa di essere giudizi de-

[8] Ovviamente il fenomeno della risonanza è ben noto nel campo della scienza delle costruzioni. Tuttavia ho sempre incontrato difficoltà – in seminari di studio, convegni, discussioni tecniche, confronti di lavoro – a farlo accettare ai miei interlocutori quando ci si muoveva nell'ambito dell'ingegneria sismica, ossia quando si affrontava il manifestarsi di un fenomeno per definizione ondulatorio, come appunto il terremoto. Perché? Non lo so.

finitivi e potranno, dopo successivi approfondimenti, risultare differenti da una più corretta analisi". Si tratta in realtà di una documentazione importante, realizzata dal vivo da persone esperte (tre ingegneri). La prima e forse l'unica: non ne conosco altre che abbiano le medesime caratteristiche.
Ciò che più interessa – almeno in questa informazione di confronto che sto cercando di condurre – è tuttavia l'approccio con il quale la documentazione è stata realizzata, anche nel modo di selezionare le immagini. S'insiste prevalentemente sulla cattiva qualità della muratura (evidente), intesa spesso come causa determinante del crollo. Su ciò non sussistono dubbi, tuttavia ne resta fuori un'altra considerazione, che non compare e che viene implicitamente contraddetta. Come abbiamo verificato in una molteplicità di casi, una delle "difese" (passive ma spesso efficaci) messe in atto da questo modo di edificare è la capacità dei sodi murari di aprirsi e poi riconnettersi immediatamente dopo, senza crollo immediato e con forti capacità di dissipazione. Se, come è accaduto diffusamente ad Amatrice e come risulta ampiamente dalla documentazione in oggetto, si inseriscono forme svariate di irrigidimento orizzontale (solai, cordoli, soprattutto coperture), s'impedisce tale comportamento e si ottengono i risultati che si vedono: esplosioni delle pareti esterne, strappi veri e propri degli elementi di facciata. L'energia si dissipa attraverso gli elementi diventati più fragili.
I rilevatori dell'ISI si imbattono anche in comportamenti che potrebbero essere generati da effetti di risonanza e li esprimono così: "gli edifici molto danneggiati spesso permettono di riconoscere paramenti murari molto disomogenei nei componenti e rimaneggiati nella geometria, con verosimile incremento degli indebolimenti locali; spesso sono riconoscibili interventi locali di apparente consolidamento degli impalcati, causanti un appesantimento certo ed un irrigidimento nel piano solo presunto; i maschi murari a sostegno o delimitazione degli impalcati spesso non sono efficacemente connessi agli stessi,



Amatrice. L'irrigidimento della copertura ha come esito l'esplosione della facciata (Fonte: ISI. *Prima documentazione fotografica di alcuni danni del recente evento sismico di Amatrice-Norcia-Valle del Tronto del 24 Agosto 2016 e dei successivi scuotimenti.*)

Amatrice. L'interruzione della copertura rigida consente alla muratura ordinaria di dissipare energia e la struttura della facciata resta integra (Fonte: ISI, come sopra).

favorendo distacchi e ribaltamenti delle murature, con crolli locali, progressivi o completi del fabbricato". Forse vi si legge un'inversione fra causa ed effetto.
C'è molto da lavorare su questo genere di osservazioni. L'ingegneria sismica non può presumere di affrontare la questione spinosissima dell'edificato esistente solo trasferendovi letteralmente i suoi codici. Una conoscenza diffusa dell'edificato storico e dei suoi comportamenti è una premessa non rinviabile e ciò può derivare solo da un lavoro comune. Un esempio fra gli altri: a pagina 34 del rapporto compare l'immagine di una palazzina dove si segnala "assenza di continuità nel cordolo di copertura". Ebbene, la palazzina appare indenne. In corrispondenza del punto d'interruzione del cordolo, probabilmente non casuale ma di progetto, si osserva solo una crepa (non strutturale) nel sodo murario di facciata. Potrebbe diventare una foto simbolo.
Un altro spazio di confronto potrebbe stabilirsi con organizzazioni di categoria come per esempio l'ATECAP (Associazione tecnico economica del calcestruzzo preconfezionato), che "è in prima linea grazie ad una continua attività di lobby, gestisce la segreteria tecnica dell'Osservatorio sul calcestruzzo e sul calcestruzzo armato, organismo istituito presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e nel quale trovano spazio e dialogo iniziative comuni nell'ambito dell'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni al settore produttivo del calcestruzzo, con riferimento alla promozione dei controlli sull'applicazione delle norme stesse".
Nel corso degli ultimi decenni la produzione delle malte cementizie ha conosciuto continui aggiornamenti e moltiplicato le sue varietà d'uso; qui sembra che ci si riferisca soprattutto al tradizionale clinker, trasferito dalle betoniere e riversato nelle casseforme addosso al tondino. Il settore è in forte crisi, come

si sa, e il mercato postsismico potrebbe essere una risorsa. Tuttavia la campagna promozionale sul calcestruzzo che si legge sul sito (#LoSaiChe), "nata con l'obiettivo di promuovere e divulgare, non solo presso gli addetti ai lavori, le caratteristiche e potenzialità uniche di questo prodotto, da secoli alla base del costruire sostenibile", elenca sedici punti di ovvio apprezzamento a sostegno delle sue tesi ma fra questi nessuno lo presenta, né tanto meno tenta di avvantaggiarlo sul mercato, come materiale antisismico. Anche in questo campo il dialogo è dunque aperto. Credo che una riflessione su tali temi sia cominciata anche in settori una volta restii ad affrontarla. La capacità del cemento di fare vittime è tristemente verificabile. La muratura ordinaria si disgrega ma di rado collassa per intero: lascia a molti il tempo di mettersi in salvo e il recupero dei feriti è più agevole. I telai in calcestruzzo armato resistono fino al collasso ma, quando questo avviene, di solito è totale, con schiacciamenti fra piano e piano. Anche l'inserimento indiscriminato di elementi in cemento nella muratura ordinaria provoca gli effetti negativi che abbiamo visto.
Vediamo in proposito altri numeri recenti, restando in Italia. Terremoto dell'Aquila: 305 vittime complessive, crollano solo 15 edifici in calcestruzzo armato (l'1% del totale degli edifici crollati) ma vi si registrano 135 vittime, ossia il 44% del totale. Sulle 29 vittime della scuola di San Giuliano di Puglia è superfluo tornare, se non per richiamare una coincidenza inquietante: erano state altrettante nel crollo della caserma "Goi Pontanali" di Gemona, intelaiata in c.a. (6 maggio 1976). La deduzione verso cui ci si avvia sembra palese: il cemento non può essere incluso tra i materiali "sicuri", nel campo della progettazione sismica. Quando si tratta di "messa in sicurezza", non si può ricorrere a materiali che non offrono il massimo delle garanzie, soprattutto se e quando esistano alternative valide. Il problema drammatico dell'edificato esistente è che in passato vi si è fatto ricorso abbondantemente, indiscriminatamente, quasi sempre irreversibilmente.

Historia docet

Quale può essere dunque un materiale più affidabile e compatibile con il patrimonio edilizio esistente, tanto irrinunciabile come immagine dell'Italia quanto biasimato come fragile e rischioso? La storia del costruito ci può dare una mano.

Modello di casa coreana a scala naturale (Londra, British Museum).

Come raccontava Federico Zeri ad Antonio Paolucci,[9] dopo il crollo nella basilica di Assisi, quando il pontefice Giulio II fece demolire la basilica costantiniana di San Pietro con l'intenzione di costruirvi un tempio a pianta centrale, sulle vecchie capriate fu trovato il marchio dell'imperatore: stavano lì da mille e duecento anni. Filippo Brunelleschi, realizzando la doppia calotta della cupola di Santa Maria del Fiore, ha il problema che quella esterna si muoverà con andamento diverso da quella interna, essendo esposta alle variazioni climatiche e quindi più soggetta a scostamenti circadiani, stagionali e anche accidentali. Vi inserisce una catena lignea di sezione quadrata (35 cm di lato) posta a circa 7,70 m sopra il piano di spicco della cupola dal tamburo. È costituita da travi di castagno unite tra loro con guance in legno di quercia. Anche questa è ancora lì, in facciavista, dopo quasi seicento anni.
La diffidenza normativa sismica nei confronti del legno, soprattutto quando si tratta di grandi opere, è inspiegabile.[10] Disponiamo di migliaia di esempi ipercollaudati sia strutturalmente sia come termini di durata e di efficacia che smentiscono questi dubbi. Sono intelaiate preferibilmente di legno, solo per citare alcuni casi, opere impegnative come le cupole delle moschee, le cupole a cipolla delle basiliche ortodosse, le altissime *flèche* delle cattedrali gotiche francesi: sempre ispezionabili

[9] Parzialmente riportato in P. Pierotti, *Sismografia storica. Regole di carta, regole di pietra: la loro applicabilità professionale*, Roma, EPC Editore, 2016, p. 140-2.

[10] Il limite di legge in altezza per le costruzioni in legno era fissato (o è tuttora fissato?) in massimo 7/10m: molto meno di quanto è solito crescere un albero.

Modellino di casa giapponese, inizi del ‘900 (Londra, British Museum, esposizione temporanea estate 2015)

a vista, sempre sostituibili elemento per elemento, mai soggette a marcescenza se lasciate libere di traspirare.
In aree fortemente sismiche come quelle asiatiche la struttura intelaiata di legno è talora codificata in leggi di stato, come la casa storica coreana, basata su sistemi diligentissimi di incassi e di incastri, senza chiodi, senza cavicchi, senza legamenti di nessun genere, che può muoversi fino al limite del dissesto ma senza collassare e che, ovviamente, è riparabile subito dopo l’evento da chi la usa. Anche in Europa abbiamo esempi di strutture intelaiate in legno con progetto di stato, come la “gaiola” portoghese (insospettabile sotto le ricche facciate della Lisbona pombaliana), oppure riconosciute valide dai vari governi in carica, come la “casa baraccata” calabrese (o “beneventana”, secondo altre fonti). Quest’ultima sembrerebbe ideale come modello per la ricostruzione nelle aree appenniniche semidistrutte: sostenuta da un telaio di legno, controventata, tamponabile, coibentabile, tutta finestrabile, intonacabile a piacere. Calcolabilissima. Sarebbe stato più opportuno partire, per esempio ad Amatrice, con un programma sostitutivo di questo genere piuttosto che lasciare la popolazione ad aspettare per un inverno le arrangiate e colpevolmente ritardatarie baracche provvisorie.
Fra gli intervistati della prima ora, compariva sulla stampa quotidiana anche l’ingegnere sismico Yoshiteru Murosaki, professore emerito all’Università di Kobe, figura di studioso

nota in Italia, dove tiene conferenze frequenti sulla materia. Sostiene che in Giappone un terremoto di tale magnitudo o con un tal genere di vibrazioni non avrebbe avuto esiti così disastrosi. "Può essere che a fare la differenza sia la struttura in legno degli edifici rispetto a quella in mattoni".[11] In Giappone l'intelaiatura in legno delle abitazioni è tradizionale (non per caso) e proprio da quel Paese proviene una lezione tragica, che sarebbe opportuno non dimenticare e tanto meno rimuovere. Con il consenso del governo, per consentire un rinnovamento urbano che portasse la capitale al rango e al prestigio di quelle europee, verso la fine dell'800 il *renewal* di Tokyo fu preso in mano da ingegneri e architetti stranieri, particolarmente dagli inglesi. Questi ritenevano che l'edificato locale fosse totalmente mancante delle garanzie antisismiche rudimentali. Josiah Conder, che ne era il principale esponente, sosteneva che gli edifici giapponesi a telaio di legno erano il contrario di quello che le strutture sismoresistenti avrebbero dovuto essere. Infatti "durante le scosse del terremoto questi edifici ondeggiano da una parte e dall'altra tangibilmente, nel modo più allarmante": così si esprimeva durante un discorso tenuto nella sede del RIBA (Royal Institute of British Architects) nel 1887.[12] La Gran Bretagna ha problemi sismici largamente minori del Giappone, gli ingegneri inglesi non si erano preoccupati di cercare di conoscere le caratteristiche antisismiche dell'architettura locale e tuttavia si comportavano da maestri, fidando nei loro canoni assoluti. Nel 1923, in una Pechino rinnovata in larga misura secondo gli orientamenti del RIBA, il terremoto provocò più di settantamila vittime.

Norcia: la resilienza

Un episodio ci consente di aprire un altro capitolo nelle nostre verifiche dal vivo: Norcia. La presidente della Regione Umbria e il sindaco di questa città, che non aveva avuto gravi danni né vittime durante l'evento del 24 agosto, attribuivano il merito di ciò ai lavori eseguiti dopo il terremoto del 1997, in attuazione delle leggi regionali emanate in proposito. La stampa enfatizzava la notizia e non mancavano intervistati che attribuivano vantaggi progettuali specifici ai loro progetti. Conseguentemente Norcia era presentata come un caso modello.
Purtroppo il successivo evento del 26 ottobre cancellò queste illusioni. Crollò perfino l'edificio simbolo di Norcia, ossia la

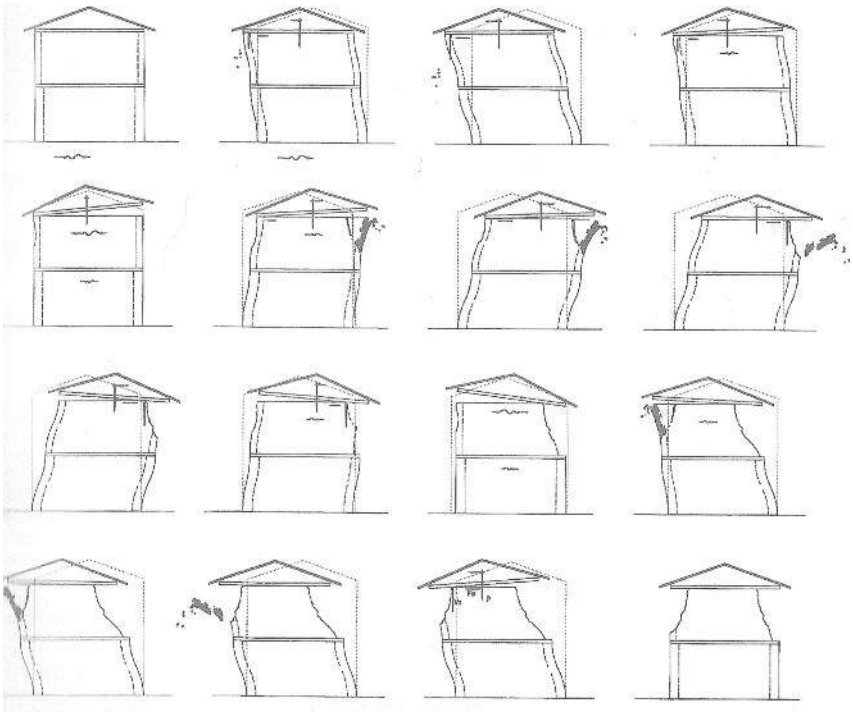
[11] *Corriere della Sera*, 29 agosto 2016, p. 11.

[12] Riportato in G. Clancey, *Earthquake nation: the cultural politics of Japanese seismicity, 1868-1930*, Berkeley, University of California Press, 2006, p. 40.

basilica di S. Benedetto, e l'abitato fu dichiarato inagibile per intero. Ovviamente, con la stessa enfasi con cui la città era stata presa a simbolo di messa in sicurezza dell'edificato, si ribaltò sugli amministratori una non taciuta accusa di avventatezza nelle comunicazioni. Ebbene, se non si entra con più profondità nella storia critica dell'episodio, si rischia di cancellare la memoria di un'esperienza che invece – essa sì – possiamo assumere a simbolo di un modo corretto di lavorare.
Dopo il terremoto del 1997-98, – disastroso e lunghissimo, più di 11.000 scosse avvertite – la Regione Umbria aveva promosso uno studio di verifica delle caratteristiche dell'edificato, del suo comportamento durante l'evento, delle modalità dei danni. La parte analitica, molto dettagliata, era la premessa per la definizione di nuove regole per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici.[13] "Assai riassuntivamente possiamo dire – scriveva Francesco Gurrieri nell'introduzione – che da una stagione in cui la *ratio* antisismica si faceva coincidere con la *ratio del cemento armato,* secondo cui l'intervento sarebbe stato tanto più efficace (nell'edificio in muratura tradizionale realizzato con tecniche "premoderne") quanto più l'assetto conseguente assomigliasse a un telaio in cemento armato, siamo passati a una diversa stagione, più rispettosa della struttura originaria dell'edificio… Momenti paradossali – aggiungeva Gurrieri – furono raggiunti quando si volle pretendere che persino i "monumenti", nelle loro cure restaurative, dovessero perseguire l'"adeguamento", postulando la cementificazione o la blindatura (metallica) di preziose e insostituibili testimonianze del passato… Quella "provocazione tecnica" paradossalmente fu salutare, perché mise in moto una riflessione profonda della cultura della conservazione che cominciò a interrogarsi e ad accorgersi come, nei secoli, tecnologie più leggere e meno invasive del cemento armato avevano mostrato una efficacia di tutto rispetto. Verso ciò concorse la disponibilità di manuali di tecniche costruttive locali, disvelatori anche di modalità elementari di prevenzione sismica".[14]
Quel lavoro collettivo rappresentava sicuramente un modello da seguire anche per gli eventi successivi. Non fu seguito, purtroppo, e ciò ha comportato la perdita di una notevole quantità d'informazioni preziose in successive occasioni: preziose perché solo dall'esperienza (non in laboratorio, cioè) si possono ricavare i dati che riguardano il fenomeno sismico. Non fu seguito neppure nelle valutazioni di principio che

[13] *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici*, già citato. Vi collaborarono Carlo Blasi, Antonio Borri, Salvatore Di Pasquale, Piergiorgio Malesani, Gianluigi Negro, Alberto Parducci, Gennaro Tampone.

[14] Ivi, p. 21.



"Fasi di dissesto delle pareti sommitali in presenza di cordoli in c.a. e strutture di copertura indeformabili" (da *Manuale per la riabilitazione,* scheda CO2).

Gurrieri elencava: ancora nel 2014 una ricerca del CNR – lo richiamai anche nel convegno linceo – insisteva nel riproporre il metodo di irrigidimento della muratura ordinaria conosciuto come "telaio equivalente".
Gli amministratori umbri erano comunque in buona fede, quando ritenevano di avere lavorato bene nel loro ambito. Una magnitudo di 6.5 è difficile da contenere. Al contrario, sarebbe assolutamente importante poter controllare caso per caso quali degli interventi eseguiti hanno funzionato, quali no, come si è comportato l'edificato "riabilitato".
C'era tuttavia un fattore di rischio che non fu considerato in maniera ponderata neppure in quel manuale, benché le caratteristiche dell'evento lo proponessero: la resilienza. Uno dei limiti teorici dell'ingegneria sismica è stato di progettare edifici senza rapportarli alla loro durata in un'area soggetta a continue e ripetute sollecitazioni. I terremoti appenninici si propongono infatti in questo modo, con "sciami sismici" interminabili, che martellano l'edificato affaticandolo e indebolendolo in progressione. Il crollo di molti edifici di Norcia come conseguenza di questo martellamento, inclusa la basilica di S. Benedetto, in larga misura rientra in questo quadro. In contemporanea, ad Amatrice crollavano il "palazzo rosso", quasi inspiegabilmente rimasto in piedi, e la torre Civica che gli stava davanti.
A fronte di ciò la risposta più accettata è quella di collegare e irrigidire ma non è detto che sia la soluzione preferibile. Nei

nostri studi sulla Valtiberina Toscana ci dovemmo confrontare con tipologie di muratura decisamente cattive e, oltre tutto, piene di aggiustamenti: un quadro che appariva diffusamente a rischio. Tuttavia, a forza di verifiche, prese corpo anche un'ipotesi apparentemente paradossale. La muratura di cattiva qualità è fortemente dissipativa. Accetta il dissesto ma mitiga il rischio del collasso (e quindi il danno grave alle persone). Dopodiché, cessato l'evento, si ricompone con un banale lavoro di scuci e cuci. Sarà possibile che anche questa forma di dissesto preordinato sia il frutto di cultura sismica locale? Nel dubbio, un riferimento indubitabile tuttavia c'è. Il materiale più idoneo per affrontare l'affaticamento da resilienza risulta essere, ancora una volta, il legno.

Il "respiro della Terra" e l'affanno del legislatore

A margine del convegno linceo del novembre 2015 sono usciti i due volumi di cui pubblico la copertina. Nati in ambiti diversi, si raccordano sulle conclusioni. Il mio riguarda principalmente questioni di prevenzione del danno e di tutela dell'edificato esistente. Lo studio di Giuliano Panza e Antonella Peresan, sismologi, concerne soprattutto temi di previsione: argomenti delicatissimi, quasi tabù per una certa parte dell'opinione pubblica.[15]
"Perché è impossibile (almeno finora) prevedere le scosse", titolava per esempio Giovanni Caprara sul *Corriere della Sera*,[16] raccogliendo e commentando il parere di alcuni intervistati. Non è esattamente così. Diffondere in modo così perentorio una convinzione del genere equivale a tornare, seppure laicamente, al concetto di "castigo di Dio".
Prevedere i terremoti si può e infatti si fa. Le mappe sismiche, per esempio, sono uno strumento che tende a quel fine. Il momento puntuale in cui si verificherà un terremoto non è indefinibile come principio: comporta dei margini di approssimazione che dipendono in buona misura dagli strumenti che si mettono in atto per poterlo conoscere, come di regola accade. Sono approssimative perfino le previsioni meteorologiche per il giorno dopo (anche se non sempre se ne esplicita il valore in percentuale di affidabilità), così come lo è l'orario dei treni o degli aerei, sempre soggetti a variazioni estemporanee, come ben sappiamo. I tempi dell'uomo e della terra sono sovrapponibili solo in minima parte, le informazioni che

Gli studi sul comportamento dell'edificato successivi al terremoto Umbria Marche del 1997-98 sono raccolti in questo volume di 592 pagine. Doveva essere un modello da ripetere in analoghe situazioni ma non fu seguito e forse neppure molto consultato.

[15] *Sismografia storica*, cit.; Giuliano F. Panza, Antonella Peresan, *Difendersi dal terremoto si può. L'approccio* neodeterministico, Roma, EPC Editore, 2016. Entrambi compaiono nella collana *Diagonali* diretta da Paolo Rugarli, ingegnere strutturista, che vi accoglie contributi aperti alla discussione, non sempre o non ancora accettati dalla letteratura "ufficiale".

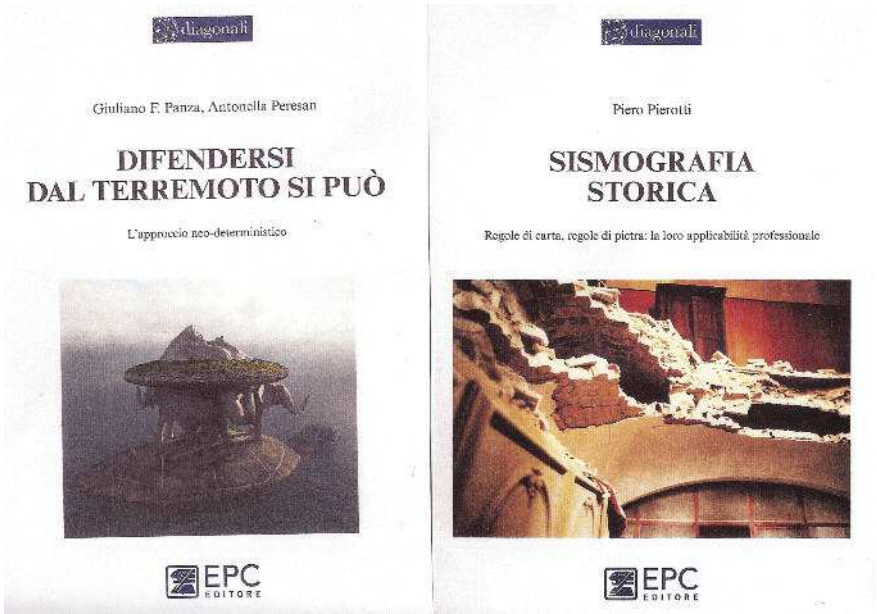
[16] 2 novembre 2016, p. 12.

siamo in grado di raccogliere ed elaborare risentono di tale ovvietà. Tuttavia stanno facendo passi notevoli gli studi sui precursori sismici che, se messi in rete (come si sta facendo), già consentono quanto meno una messa in allarme del sistema di protezione civile.
Caprara, nell'articolo sopra citato, faceva riferimento a un metodo di previsione vetusto e scarsamente praticabile: le trivellazioni in profondità. In realtà tanta fatica può non servire: possiamo farcelo raccontare direttamente dalla Terra. Una delle ricerche più affascinanti riguarda il chimismo delle acque. Quando, nelle profondità della crosta terrestre, vi sono variazioni tettoniche importanti ma non ancora manifestate in superficie, le acque sotterranee possono subire variazioni di pressione, essere costrette a modificare i loro percorsi, mineralizzarsi e gassificarsi in maniera anomala. Questi dati viaggiano con loro e raggiungono la superficie. Possono essere raccolti alle sorgenti, a condizione che si sia predisposta e messa in rete la strumentazione per poterli valutare in continuo. Ma è solo un esempio. I numerosi metodi di previsione a breve, considerati degni di attenzione e certo più avanzati delle trivellazioni, sono raccolti in elenchi degli "osservabili". Gruppi di ricercatori di molte discipline vi stanno lavorando e sempre più di frequente si confrontano fra loro, incrociando i dati.[17]
Carlo Doglioni svolse un intervento d'importanza centrale nel convegno linceo del 2015. "I terremoti sono parte del respiro della Terra, sono la dimostrazione della vitalità del pianeta che permette anche la continua alimentazione dell'atmosfera tramite il vulcanismo e quindi della vita… La previsione completa dei terremoti, cioè dove, di quale magnitudo e quando avverrà, è ancora lontana. Gli studi però progrediscono ogni giorno e così come le previsioni del tempo o la cura dei tumori si sono evoluti gradualmente con piccoli tasselli crescenti di conoscenza fino ad arrivare a un incredibile miglioramento, così oggi sappiamo già piuttosto bene dove e quanto forte potranno avvenire i terremoti".[18]
Sui metodi per arrivare a definire il "quando" il discorso è completamente aperto. Le mappe vigenti sono state redatte adottando un metodo probabilistico (PSHA), ossia basato sulle "notizie" che si hanno dei terremoti storici. Panza e Peresan praticano invece una metodologia diversa, di carattere neodeterministico (NDSHA), "che utilizza le informazioni disponibili sulla struttura della Terra, le sorgenti sismiche e la

[17] "The first class of observables that was the subject of major scientific interest in the last years, is that related to seismicity studies carried on by considering stochastic models and tools. The second class concerns monitoring of underground fluids (Radon, piezometry of confined aquifers) and variations of physical/mechanical properties of the crust (electrical conductivity, thermal anomalies, regional scale strain field variations, Vp/Vs ratios, seismic anisotropy, etc.) from surface measurements. The third class concerns large scale remote sensing (ground displacements, variations in the electromagnetic field, thermal radiation studies, etc.) from satellite data. These classes include quite different and complementary phenomena, all potentially related to the seismogenic process. In front of this wide spectrum of possible observations, there is the general lack of a well accepted and experimentally sound physical model linking the active seismogenic process to each of the observables listed above" (dal "Seismological Programme (2012 2013), DPC-INGV, Project S3, "Short term earthquake prediction and preparation", project director Dario Albarello, *Final Report*, p. 6).

[18] In Panza, cit., p. 11. Carlo Doglioni nel frattempo è stato nominato presidente dell'INGV.

distribuzione spaziale della sismicità al di sopra di una certa soglia di magnitudo... Ciò al fine di calcolare sismogrammi sintetici realistici associati a un ampio insieme di potenziali terremoti, che condizionano la pericolosità dell'area studiata".[19]
Il metodo NDSHA, nato nel 1993, ha già avuto una quantità controllabile di verifiche positive, anche rispetto alla previsione di terremoti italiani recenti (Emilia, Amatrice), che le mappe PSHA avevano sottostimato.
Dove sta la differenza, dal punto di vista applicativo? Le mappe PSHA, proprio perché basate su dati storici che non possono essere implementati molto oltre il già noto, sono praticamente congelate. Le mappe NDSHA sono invece in continuo aggiornamento perché possono adeguarsi ai nuovi dati che si ricavano ascoltando "il respiro della Terra", ossia al progredire della ricerca.
Anche per quanto riguarda l'integrazione fra i dati NDSHA e il comportamento sismico dell'edificato esistente questo genere di confronto sembra preferibile. Si parla infatti in entrambi i casi di "morfostrutture". Le morfostrutture di profondità sono quelle che provocano il fenomeno, le morfostrutture di superficie quelle che lo subiscono, ma in questo trasferimento di energia le modalità dell'evento sono collegate strettamente. La progettazione sismica non ne può prescindere. Può anzi risultare utile anche il percorso inverso: dal comportamento si-



Le morfostrutture di profondità e le morfostrutture di superficie in caso di evento sismico si connettono. Si pongono le basi per una valutazione integrata delle azioni e degli effetti.

[19] Ivi, p. 85.

smico dell'edificato si possono ricavare dati utili per arricchire le informazioni che stanno alla base del metodo NDSHA.
I limiti applicativi del metodo PSHA nel campo dell'ingegneria sismica sono molti e complessi da trattare: posso solo rinviare ai due volumi citati sopra e agli atti del convegno linceo, per definirli correttamente. Mi limito a segnalarne il vizio di origine.
Il metodo probabilistico nacque nel 1968 per iniziativa di C. Allin Collins, ingegnere.[20] Parlava dunque il linguaggio degli ingegneri e ciò era assolutamente ovvio, specie quando la tematica diventava di carattere progettuale. Fu acquisito dall'Eurocodice 8 e conseguentemente trasferito nella normativa italiana. I parametri di calcolo adottati dalla normativa sismica sono pertanto espressi in sottomultipli di *g*. L'accelerazione di gravità è una grandezza nota e si rappresenta con un vettore che ha direzione, verso e intensità definite. L'onda sismica si rappresenta invece con una sinusoide ma già si tratta di una semplificazione, perché si parla di solito – anche in geofisica – di "treni d'onde"e, in realtà, l'insieme dei fenomeni che si manifestano quando occorre un terremoto non è rappresentabile graficamente né calcolabile. In ogni caso la combinazione delle forze in gioco sarà la risultante (fisica) dell'accelerazione di gravità con le vibrazioni più o meno rappresentabili sotto forma di sinusoide, mai più una grandezza vettoriale.
Il paradosso che si rileva è che i parametri di calcolo che si adottano per la progettazione antisismica sono quelli che vengono ordinariamente sconvolti quando occorre un terremoto mentre ne restano fuori proprio i valori e le misure connesse col manifestarsi dell'onda sismica. Certo, l'adozione di valori noti come *g* semplifica la calcolabilità dei processi ma non è una semplificazione di poco conto, quella che si trasferisce nei parametri della normativa, appunto perché in buona parte i veri effetti del sisma – specie nell'edificato esistente – si possono valutare in termini qualitativi piuttosto che quantitativi. Il quadro applicativo ne risulta molto confuso e la materia apparirebbe interamente da discutere.
Dove sta dunque il nodo, a livello metodologico ma soprattutto operativo? Lo segnala Rodolfo Guzzi nella prefazione al volume di Panza e Peresan. "In scienza l'osservazione e la misura sono gli strumenti per eccellenza. Ciò che si deduce deve de-

[20] C. Allin Cornell, *Engineering seismic risk analysis,* "Bulletin of the Seismological Society of America", Vol. 58, No. 5, October, 1968, p. 1583-1606. "Il metodo probabilistico si basa su alcuni criteri e modelli molto suggestivi che però sono stati dimostrati sbagliati e che non hanno basi fisiche, negli aspetti teorici, o statistiche, nelle applicazioni": si veda G. Panza, cit., da p. 73 a p. 84. Nonostante il mare di critiche a cui il metodo è stato sottoposto in tutto il mondo, soprattutto da parte degl'ingegneri sismici statunitensi, il Parlamento italiano si appresta a confermarne l'adozione nella nuova stesura delle Norme Tecniche di Costruzione (nel momento in cui scrivo l'approvazione è stata bloccata in Commissione per un parere contrario dell'Ordine dei Geologi). "Qui è forte la confusione – commenta Panza – tra scientificamente accettato e accettato dalla maggioranza, due concetti assai distinti dato che la scienza non è democratica", cit., p.79.

rivare da questi, attraverso criteri che ricostruiscano il sistema fisico sotto esame. Eppure, quando si parla di terremoti, i criteri adottati sembrano dimenticare questi semplici criteri. Ne viene fuori che il criterio probabilistico PSHA diventi legge dello stato e si costruisca su di esso la mappa di pericolosità sismica del territorio italiano".[21]

Forse l'ostacolo più difficile da rimuovere, riguardo allo sviluppo di una discussione libera sui temi che ho tracciato, è appunto questo. Su un tavolo scientifico si può dibattere di tutto. A fronte dell'imposizione di legge la scienza tace e, quando si tratta d'ingegneria sismica, il professionista può solo adeguarsi e mettere la firma.

[21] Ivi, p. 9.