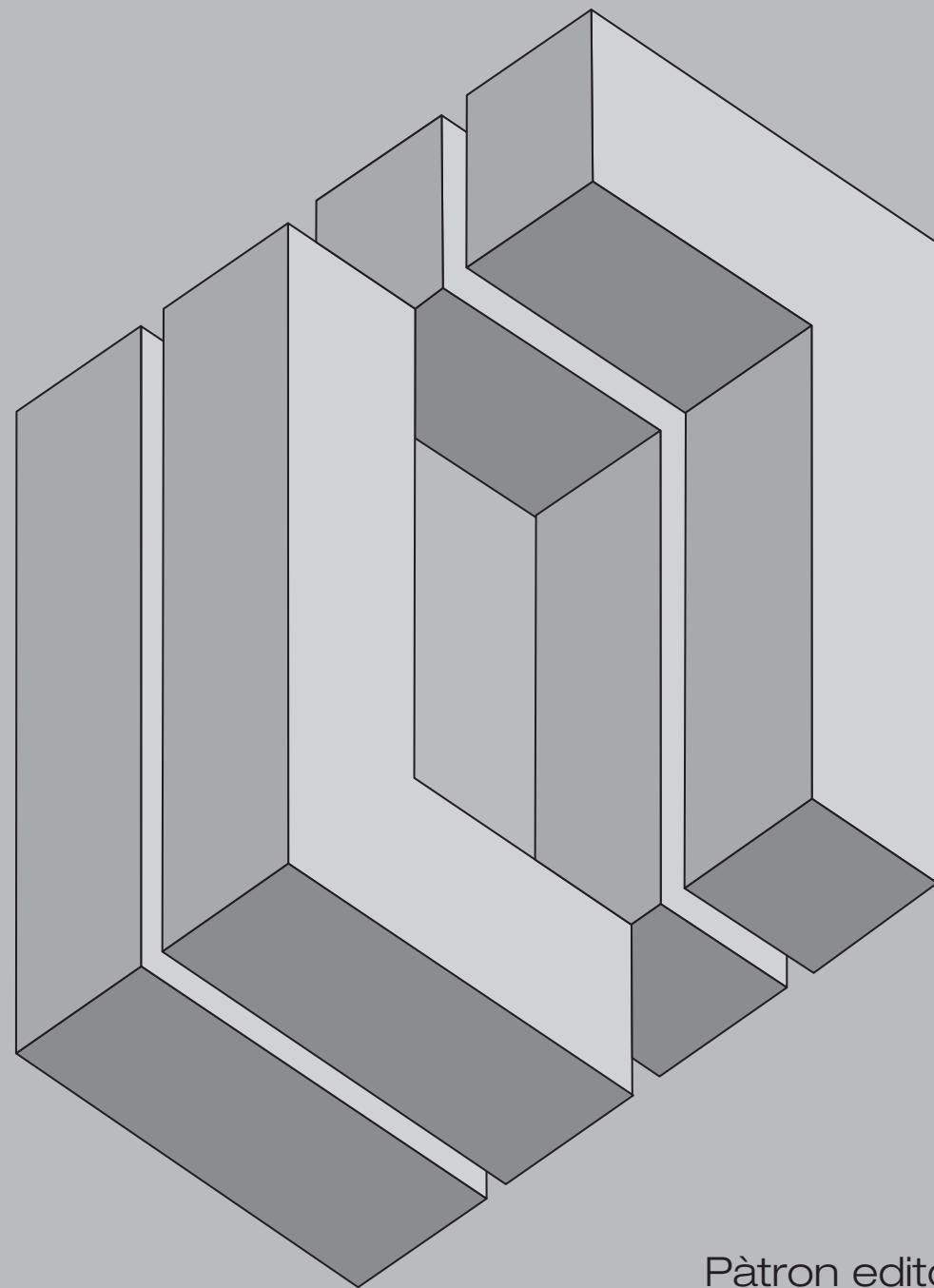


1 2012

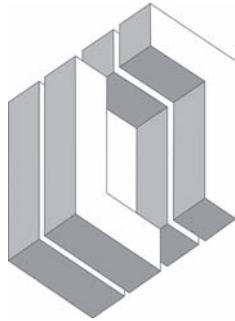
# *ingegneria sismica*

International Journal of Earthquake Engineering

Trimestrale tecnico-scientifico



Pàtron editore



**Founder / Fondatore**  
Dulio Benedetti - Politecnico di Milano

**Editor-in-Chief / Coordinatore editoriale**  
Gianmario Benzoni - University of California San Diego - [benzoni@ucsd.edu](mailto:benzoni@ucsd.edu)

**Associate Editors / Coordinatori associati**  
Panayotis Cardis - National Technical University Athens, Greece  
Dina D'Ayala - University of Bath, UK  
Maria Adelaide Parisi - Politecnico di Milano, Italy

**Scientific Board /Comitato scientifico**  
Raimondo Betti - Columbia University, USA  
Alfredo Campos Costa - LNEC Lisbon, Portugal  
Giacomo Di Pasquale - Dipartimento della Protezione Civile, Italy  
Giancarlo Gioda - Politecnico di Milano, Italy  
James M. Kelly - University of California Berkeley, USA  
Sergio Lagomarsino - Università di Genova, Italy  
Giuseppe Lomiento - Bianchi-Lomiento, Italy  
Claudia Madiai - Università degli Studi di Firenze, Italy  
Guido Magenes - Università di Pavia, Italy  
Alessandro Martelli - ENEA Bologna, Italy  
Mauro Mezzina - Politecnico di Bari, Italy  
Maria Ofelia Moroni - Universidad de Chile, Santiago, Chile  
Stefano Pamparini - University of Canterbury, New Zealand  
Floriana Pergalani - Politecnico di Milano, Italy  
Yuri Ribakov - Ariel University, Israel  
Paolo Rugarli - Castalia S.r.l., Milano, Italy  
Gaetano Russo - Università di Udine, Italy  
Milutin Srbulov - Mott MacDonald, U.K.  
Miha Tomasevic - Slovenian Civil Engineering Institute, Slovenia  
Mihailo Trifunac - University of Southern California, USA  
Keh-Chyuan Tsai - National Taiwan University, Taipei, Taiwan  
Thomas Wenk - Swiss Society for Earthquake Eng., Switzerland  
Aspasia Zerva - Drexel University, USA

**Director /Direttore responsabile**  
Fausto Giovannardi - Giovannardi e Rontini, Borgo San Lorenzo (FI), Italy

**Redazione, amministrazione, abbonamenti e pubblicità**  
Pàtron Editore  
Via Badini 12, Quarto Inferiore  
40057 Granarolo dell'Emilia, Bologna  
Tel. (051) 767003 - Fax (051) 768252  
e-mail: [info@patroneditore.com](mailto:info@patroneditore.com)  
Sito: [www.patroneditore.com](http://www.patroneditore.com)

**Stampa:** Tipografia, LI.PE. Litografia Persicetana, S. Giovanni in Persiceto, Bologna, aprile 2012

**Subscriptions see URL:**  
[www.ingegneriasismica.org](http://www.ingegneriasismica.org)

**Abbonamenti 2012**  
€ 78,00; (estero € 110,00).  
Fascicoli arretrati:  
€ 21,00; (estero € 32,00).  
Abbonamento cartaceo + on-line € 90,10 (estero € 135,41).  
Abbonamento on-line € 60,50.

Modalità di pagamento:

PDF singoli articoli: [www.ingegneriasismica.org](http://www.ingegneriasismica.org)  
€ 15,00 se relativi all'anno in corso, € 6,50 precedenti all'anno in corso  
L'abbonamento ha decorrenza gennaio-dicembre, con diritto di ricevimento dei fascicoli già pubblicati, se sottoscritto in corso d'anno.  
I fascicoli non pervenuti possono essere richiesti non oltre 30 giorni dopo la spedizione del numero successivo.  
Inviare il versamento anticipato adottando una delle seguenti forme:  
- c.c.p. n.000016141400 intestato a Pàtron editore, via Badini 12, Quarto Inferiore, 40057 Granarolo dell'Emilia (BO)  
- bonifico bancario a CARISBO, Agenzia 68, Via Pertini 8, Quarto Inferiore, 40057 Granarolo dell'Emilia (BO) BIC IBSPIT2B; IBAN 03 M 06385 36850 074000007827  
- carta di credito a mezzo PAYPAL [www.paypal.it](http://www.paypal.it)

Sul sito [www.ingegneriasismica.org](http://www.ingegneriasismica.org) nella sessione archivi sono presenti tutti gli indici delle annate pubblicate.

Ingegneria Sismica  
Registrazione Tribunale di Bologna n. 5139 del 20.2.84  
Realizzazione grafica della copertina: Arturo Galletti

ASSOCIATO ALL'USPI  
UNIONE STAMPA  
PERIODICA ITALIANA



#### TO READERS AND AUTHORS

We are pleased to announce that *Ingegneria Sismica* is covered by Compendex, one of Elsevier products. Compendex will index papers and possibly extract data from the full text. Coverage increases dissemination of authors' work: the benefits are high visibility to a global audience. Since 1970, Compendex has been the engineering database of choice for researchers, students, faculty and engineering professionals around the world.

#### AI LETTORI ED AGLI AUTORI

Siamo lieti di comunicare che *Ingegneria Sismica* fa parte del database di Compendex, uno dei prodotti di Elsevier. Questo comporta l'indicizzazione degli articoli pubblicati e la eventuale citazione di dati estratti dal testo. Verrà così fortemente accresciuta la visibilità internazionale degli autori e degli argomenti trattati. Compendex costituisce, fin dal 1970 un importante database per ricercatori, operatori accademici, studenti e professionisti di tutto il mondo.

# ingegneria sismica

## International Journal of Earthquake Engineering

Anno XXIX – N. 1 – gennaio-marzo 2012 – Pagine 1-80

### Sommario/Contents

Difendersi dai terremoti	Pag. 8
G. GRANDORI	
The October 23 (Mw = 7.2) and November 9 (Mw = 5.7), 2011 Van, Turkey earthquakes. A geoscientific and engineering report <i>Il terremoto di Van in Turchia del 23 Ottobre 2011 e del 9 Novembre 2011 – Rapporto geoscientifico e ingegneristico</i>	" 13
P. CARYDIS, E. LEKKAS, C. PAPAOANNOU, A. TSOKOS, J. DELAKOURIDIS	
Attendibilità dei modelli per la valutazione dei moduli elasticci delle murature suggeriti dalle norme tecniche <i>Reliability of code-proposed models for assessment of masonry elastic moduli</i>	" 38
L. CAVALERI, F. DI TRAPANI, G. MACALUSO, M. PAPIA	
Enhancing the Serviceability Performance of Tall Buildings Using Supplemental Damping Systems <i>Miglioramento della risposta in servizio di edifici alti attraverso l'uso di sistemi smorzanti</i>	" 60
B. MORAVA, T. HASKETT, A. SMITH	
<b>Note tecniche/Technical notes</b>	
Opere di miglioramento sismico con l'impiego di controventi dissipativi di un edificio con struttura in cemento armato <i>E. GIOVANNARDI, F. GIOVANNARDI</i>	" 71
<b>Normativa sismica/Seismic code</b>	
Revisione del DM 14.01.2008 NTC sulle costruzioni. Siamo partiti con il piede sbagliato <i>F. GIOVANNARDI</i>	" 78
<b>Calendario eventi/Events calendar 2012</b>	" 80
<b>Elenco degli inserzionisti/Advertisement</b>	
AMV	p. II cop.
Ronchi dei Legionari (Go)	
C.S.I.	" 1
Pordenone	
URETEK	" 2
Bosco Chiesanuova (Vr)	
ENEXSYS	" 3
Casalecchio di Reno (Bo)	
PIACENZA EXPO	" III cop.
Piacenza	
AEDES	" IV cop.
San Miniato (Pi)	

Cari Lettori,

Accettare la responsabilità della guida di una rivista scientifica è di per sé compito arduo. Nel caso di Ingegneria Sismica, l'impresa è resa ulteriormente difficile se si succede, nel ruolo di coordinatore editoriale, al suo fondatore e guida per 27 anni, il Prof. Duilio Benedetti. Ho iniziato la mia carriera di ricercatore sotto la guida di Duilio al Politecnico di Milano nel 1981 e collaborato con lui fino al mio trasferimento negli Stati Uniti nel 1994. In quegli anni intensi e produttivi ho assorbito da Duilio ciò che considero uno strumento prezioso: un approccio alla ricerca basato sull'onestà, la semplicità e l'originalità. Sono questi principi, oggi forse sottovalutati, che mi hanno guidato negli anni e che al tempo stesso hanno permeato l'identità di Ingegneria Sismica. Verranno gelosamente mantenuti nel suo futuro. Sotto la guida di Duilio la rivista ha raggiunto la credibilità di una pubblicazione scientifica solida, indipendente, originale e informativa. Ingredienti fondamentali del successo di una rivista come Ingegneria Sismica sono i contributi originali degli autori e l'interesse critico dei lettori. È per questo che ringrazio chi ci ha sostenuto nel tempo con la speranza che il vostro interesse continui negli anni a venire.

Molti sono gli obiettivi che un rinnovato comitato editoriale e scientifico stanno formulando per il futuro. Una delle priorità più sentite è senza dubbio il riconoscimento della rivista da parte di Thomson Reuters (ISI) che dipende dalla qualità e visibilità internazionale (citations) della rivista. La pubblicazione degli articoli in inglese ed italiano, già attivata lo scorso anno, è fondamentale a questo scopo. Tra le iniziative anticipate per il futuro rientrano la pubblicazione di numeri tematici su argomenti di attualità per i quali sollecitiamo suggerimenti da parte di tutti i lettori. Il dibattito e la diffusione dei risultati di ricerche scientifiche così come degli sviluppi tecnologici e applicazioni professionali rappresentano un caposaldo della fisionomia di Ingegneria Sismica. Allo scopo di creare uno spazio adatto al confronto e alla collaborazione abbiamo provveduto alla realizzazione di un nuovo sito web interattivo: [www.ingegneriasismica.org](http://www.ingegneriasismica.org). Spero lo troviate di vostro gradimento e non manchiate di fornirci suggerimenti per migliorarlo. Nei prossimi numeri della rivista verrà inaugurata inoltre una sezione dedicata a commenti sugli articoli precedentemente pubblicati.

Sottolinea la continuità della linea editoriale della rivista l'articolo di apertura del primo numero del 2012 dello stesso autore che aprì il numero zero nel lontano 1984. Si tratta di un articolo postumo del compianto Prof. Giuseppe Grandori.

Buona lettura

GIANMARIO BENZONI – EDITOR  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA SAN DIEGO

Dear Readers,

Accepting the editorial responsibility of a scientific journal is, for a start, a challenging adventure. For Ingegneria Sismica, the hurdle is shifted upward by having to replace in the role of Editor its founder and soul of 27 years of existence, Prof. Duilio Benedetti. I started my scientific life in 1981, at the Politecnico di Milano, under his mentorship and went on collaborating with him until my transfer to the US in 1994. In those intense and productive years I learned from Duilio what I consider a most valuable resource: an approach to science founded on honesty, simplicity and originality. These principles, nowadays maybe undervalued, guided my career and also permeated the identity of Ingegneria Sismica through the years. They will continue to do so in the future. Under Duilio's leadership Ingegneria Sismica achieved the reputation of a solid, unbiased, original and informative scientific publication. We all know, however, that a journal cannot thrive without the original contribution by committed authors and the interest of readers. For this reason I wish to acknowledge our authors and subscribers for the interest shown to the journal. I hope this will endure in years to come.

A new editorial and scientific board is actively formulating new ideas for the future. It is high in the priority list the attempt to attain the coverage from Thomson Reuters (ISI). With this goal in mind we are focused on increasing international visibility (citations) and maintain high standards. The double language, implemented last year, is an effort in this direction. Special issues on relevant topics will be developed and suggestions from authors are welcome. The discussion and dissemination of research results and professional practice advances is a journal core value. With this motivation we created a new interactive web page ([www.ingegneriasismica.org](http://www.ingegneriasismica.org)). I hope you will like it and you will provide feedback for its improvement. In the future issues of the journal there will also be a space for discussion on anything published on previous issues.

In order to stress the sense of continuity from the previous and the current management of the journal we open the first issue of 2012 with a paper from the same author that opened the very first release of the journal in 1984; it is a posthumous paper from the deeply missed Prof. Giuseppe Grandori.

Have a good read

GIANMARIO BENZONI – EDITOR  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA SAN DIEGO

## PRESENTAZIONE DEI LAVORI

La rivista pubblica sia articoli scientifici, che riportano i risultati di indagini teoriche e sperimentali, sia *Note Tecniche* che descrivono progettazioni e realizzazione di opere in zona sismica. Gli articoli scientifici saranno presentati in lingua inglese. Gli autori italiani hanno la facoltà di inviare i loro articoli anche in lingua italiana (in articoli separati), indicando la lingua di riferimento scelta (Italiano o Inglese). Le figure, le tabelle e la lista dei riferimenti bibliografici saranno riportate solo nella lingua di riferimento. Le didascalie appariranno nelle due lingue. Ogni articolo scientifico sarà sottoposto a revisione esterna.

Alle *Note Tecniche* in lingua italiana va aggiunta una versione ridotta in lingua inglese (*extended abstract*) di circa due pagine, in carattere corsivo, con il titolo tradotto e gli appropriati rinvii a figure, tabelle ed equazioni del testo principale. La revisione di questi articoli sarà redazionale.

Sia per gli articoli scientifici che per le *Note Tecniche*, una preliminare versione in formato digitale PDF deve essere inviata per la fase di revisione. Qualora accettati, gli articoli verranno richiesti agli autori in formato Word con figure (in formato digitale JPEG con risoluzione minima di 300 dpi), tabelle e relative didascalie in un file a parte.

Gli articoli scientifici e le note tecniche proposti per la pubblicazione verranno inviati tramite la pagina web:

[www.ingegneriasismica.org](http://www.ingegneriasismica.org)

La stampa delle figure è in b/n. La riproduzione a colori comporta un onere da definire con Pàtron Editore (periodici@patroneditore.com). La riproduzione sulla pagina web sarà a colori. Per ogni articolo pubblicato, l'editore invierà al primo autore 10 estratti gratuiti.

Istruzioni dettagliate per la formattazione dei lavori sono contenute in un documento Word scaricabile dal sito web.

## PAPER SUBMISSION

Submitted papers will be published in two categories: 1) Scientific papers, presenting the results of theoretical and experimental studies, 2) Technical papers, illustrating design and construction of specific structures. All papers will be subjected to a review process. Technical papers by non-Italian authors will be completed by an extended abstract, in Italian, provided by the editor.

At submission time only a PDF file is required for the review process. After acceptance, authors must submit all source material in Word, with tables, figures (JPEG format with at least 300 dpi) and captions in separate files.

Scientific and technical papers may be submitted at the web site:

[www.ingegneriasismica.org](http://www.ingegneriasismica.org)

The printed illustrations will be in B&W. Color reproductions could be requested at a cost to be agreed with the publisher (periodici@patroneditore.com). Colors will be maintained for the web page version. The first author of each paper will receive 10 free offprints.

Detailed instructions for manuscript preparation can be downloaded from the Journal web page.

# Difendersi dai terremoti

Prof. Giuseppe Grandori (1921-2011)\*

Uno studioso del XV secolo, Giannozzo Manetti, segretario del re di Napoli Alfonso I d'Aragona e autore del pregevole trattato “De Terraemotu”, così esordisce: “I poeti, gli storici, i giureconsulti e i teologi, in generale, ritengono che il terremoto provenga in modo straordinario dal potente Iddio; contro le sentenze di tutti gli astrologi e filosofi che, indagate con somma diligenza e accuratezza le cose naturali, dicono e ritengono che essi (i terremoti) abbiano origine dalla natura stessa”. E già al suo tempo il Manetti, dopo accurata analisi comparativa delle ragioni addotte dai maggiori esponenti delle due correnti di pensiero, si pronunciava chiaramente per l'origine naturale e quindi per la possibilità, almeno in linea di principio, di una difesa.

Inutile aggiungere che, oggi, non vi è discussione sul fatto che dai terremoti ci si possa difendere. Le conseguenze dei terremoti, in termini di vittime e di danni materiali, derivano infatti principalmente dal cedimento delle costruzioni eseguite dall'uomo. Si tratta dunque di progettare ed eseguire ogni costruzione in modo che sia pronta a resistere ai terremoti che, in base agli studi di Sismologia, ci si attende che possano interessare la costruzione in esame. A questo scopo tendono le “Norme per le costruzioni in zona sismica” che in Italia hanno vigore di legge e rappresentano la prima fondamentale linea di difesa dai terremoti.

Non intendo qui affrontare in dettaglio la struttura tecnica delle norme, ma solo discutere alcuni delicati problemi di carattere decisionale connessi con la loro formulazione. Prima di tutto: “resistere” è da intendersi senza il minimo danno, oppure con danni lievi, oppure con danni anche gravi ma non tali da compromettere la stabilità dell'insieme o di una sua parte significativa? Inoltre, non essendovi modo di definire una “massima intensità possibile” dei terremoti attesi in un sito, come scegliere il livello di intensità fino al quale la costruzione deve essere pronta a resistere? In sintesi, come scegliere l'intensità del terremoto di progetto?

D'ora in avanti chiamerò  $H$  questa intensità, che è l'indice più significativo della severità delle norme.

Ciò che le norme sismiche tendono ad ottenere è che le costruzioni resistano senza collassi ad un terremoto la cui intensità viene raggiunta o superata molto raramente nel sito in esame. Ad esempio, per gli ordinari edifici di abitazione, le norme fanno riferimento all'intensità che ha nel sito un “periodo di ritorno” di 500 anni.

Le scelte ora dette non sono il frutto di una analisi razionalizzata del problema decisionale. Esse derivano piuttosto da pionieristiche intuizioni suggerite dalla osservazione degli effetti dei terremoti passati. Ma si tratta, complessivamente, di una scelta appropriata oppure troppo (o troppo poco) severa?

I tentativi di razionalizzazione del problema si sono sempre scontrati con il fatto che qualunque criterio decisionale conduce inevitabilmente alla scelta di un valore accettabile del rischio per la vita delle persone. Scelta assai ardua, tanto che autorevoli studiosi di Psicologia sociale si chiedono se gli esseri umani siano abbastanza intelligenti per occuparsi utilmente della scelta del rischio sismico accettabile /1/. Tuttavia, poiché delle decisioni vengono inevitabilmente prese, alcune persone di buona volontà, incuranti della limitatezza delle loro capacità intellettuali, hanno tentato di stabilire criteri potenzialmente condivisibili (pur se non razionali) di scelta della severità delle norme sismiche.

Un primo tentativo si fonda sulla analisi del costo totale dei provvedimenti di prevenzione, costo valutato come somma dell'extra-costo di costruzione (rispetto al caso in cui si progetti senza preoccuparsi dei terremoti) e del costo attualizzato dei danni attesi per effetto dei futuri terremoti. Alcuni autori hanno sostenuto che il più opportuno livello di severità delle norme sismiche sia quello che rende minimo il costo totale di prevenzione. Fanno notare, questi autori, che il rischio per la vita delle persone non viene trascurato se fra i danni attesi si tiene conto anche del numero atteso di vittime, valutando il danno corrispondente alla perdita di una vita umana come differenza (in media) fra quanto un individuo produrrebbe e quanto consumerebbe nella sua vita residua in assenza di incidenti sismici.

Questo criterio del minimo costo monetario totale ha sollevato una serie di critiche, la più stringente delle quali può essere formulata sinteticamente così: scegliere per il terremoto di progetto l'intensità che rende minimo il costo monetario significa ritenere che non valga la pena di investire neppure un euro per salvare una vita umana. Infatti, se esiste una intensità che minimizza il costo totale (chiamiamola  $H_m$ ) vuol dire che, per qualunque scelta di  $H$  minore di  $H_m$ , l'applicazione delle norme, oltre a ridurre il rischio per le vite umane, fa anche risparmiare denaro. Accade cioè che la diminuzione dei danni attesi prevale sull'extra-costo di costruzione. Solo se si supera l'intensità  $H_m$ , il costo totale assume andamento crescente al crescere di  $H$  e si può a buon diritto parlare di investimento per la protezione di vite umane. Il criterio di minimo costo totale, cioè, suggerisce un limite inferiore per

\* Emeritus Politecnico di Milano

l'intensità di progetto, ma non ci aiuta a rispondere alla domanda: di quanto è opportuno inoltrarsi al di sopra di tale limite?

L'analisi economica, tuttavia, consente di mettere in evidenza una grandezza utile per alcuni sviluppi di cui parlerò più avanti. Vediamo di cosa si tratta.

Per un dato sito e un dato tipo di costruzione, supponiamo di saper calcolare, in funzione di  $H$ , sia l'extra-costo di costruzione, sia il numero  $N$  di vittime atteso nel periodo di vita utile della costruzione, nonché il costo monetario attualizzato dei danni attesi nello stesso periodo. Potremo allora calcolare, in corrispondenza di ciascun ipotetico valore di  $H$ , l'investimento necessario affinché il numero di vittime atteso  $N$  diminuisca di una unità. È il "costo marginale di una vita salvata", grandezza che bene rappresenta l'importanza assegnata alla prevenzione del rischio per le persone.

Un diverso criterio di scelta della severità delle norme sismiche stabilisce semplicemente: l'intensità del terremoto di progetto sia tale che "la probabilità di restare uccisi in un qualunque edificio per effetto di un terremoto sia uguale o inferiore a quella di restare uccisi in un incidente automobilistico o sul lavoro. Il rischio sismico viene così correlato a rischi ai quali ciascuno di noi è esposto ogni giorno e che ha accettato in passato". Il criterio del confronto con altri rischi può essere variamente perfezionato (ad esempio distinguendo i rischi volontari da quelli involontari oppure adottando opportuni pesi per tener conto delle diverse distribuzioni nello spazio e nel tempo) ma non evita due critiche fondamentali.

In primo luogo, la scelta del rischio accettabile dovrebbe dipendere "anche" dal costo che la riduzione del rischio comporta. Inoltre, il criterio implica il giudizio che le decisioni prese in passato siano state buone decisioni, ciò che è per lo meno discutibile in molti casi. In sostanza, né il criterio puramente economico (apparso in letteratura nel 1952 /2/) né il criterio del confronto con altri rischi (proposto nel 1972 /3/) offrono un paradigma condivisibile per la soluzione del nostro problema; a parte il vincolo, peraltro importante, di operare nel campo in cui il costo marginale di una vita salvata è positivo.

Ma il fatto che non si riesca a definire la più opportuna (e tanto meno la "giusta") severità delle norme sismiche non implica che non sia possibile introdurre giustificate variazioni "migliorative" della severità tradizionalmente accettata. Ciò è infatti possibile (sempre in linea di principio) usando il criterio del confronto e assumendo come parametro significativo il costo marginale di una vita salvata. Vediamo come, appoggiandoci a un esempio. Siano  $R_1$  e  $R_2$  due diverse condizioni di rischio che riguardano gli abitanti di una grande città; siano  $S_1$  e  $S_2$  i rispettivi costi totali dei provvedimenti di prevenzione con i livelli di severità delle norme vigenti; e sia  $S = S_1 + S_2$  l'impegno globale a carico della comunità. Supponiamo che il costo marginale di una vita salvata (CMVS) sia, nel caso del rischio  $R_2$ , maggiore di quello relativo a  $R_1$ . Allora una riduzione dell'impegno  $S_2$  accompagnata da un aumento di  $S_1$  uguale in valore assoluto si risolve in un aumento di vite salvate a parità di  $S$ . La variazione migliorativa è dunque a costo

zero. Ed è chiaro che, quantitativamente, il trasferimento di risorse più efficace è quello che conduce allo stesso CMVS nei due casi. Il criterio di confronto basato sul CMVS può essere applicato anche, per così dire, all'interno della stessa normativa sismica per migliorare la distribuzione di risorse fra zone con diverse attività sismiche. Il criterio, che è apparso in letteratura negli anni '70 /4/ /5/, è stato effettivamente utilizzato nell'ambito della revisione della classificazione sismica dei Comuni italiani predisposta dal Progetto Geodinamica del CNR ed attuata nel corso degli anni '80.

L'Ingegneria sismica è disciplina relativamente giovane, che ha avuto il suo massimo sviluppo nella seconda metà del '900. Il poderoso sforzo di ricerca a livello mondiale ha consentito grandi progressi, sia nella descrizione probabilistica dei terremoti attesi sia nell'analisi della risposta delle costruzioni. Conoscenze che hanno dato corpo alle norme per le costruzioni in zona sismica. Come abbiamo visto, permangono alcune incertezze nelle scelte di fondo, ad esempio sulla scelta dell'intensità del terremoto di progetto.

A questo proposito va osservato che si tratta di incertezze comuni a tutti i problemi di prevenzione del rischio per la vita delle persone, trattati in letteratura sotto il titolo Societal Risk Assessment /6/. In questi casi la scelta non può che derivare da un processo in cui le conoscenze scientifiche si integrano con le esigenze e le propensioni della popolazione interessata, il cui contributo deve essere sollecitato e può rivelarsi decisivo.

Quanto all'efficacia delle norme sismiche nella configurazione oggi generalmente accettata, le numerose osservazioni post-terremoto disponibili mostrano che l'applicazione delle norme riduce drasticamente il numero atteso di vittime (almeno nel rapporto di 10 a 1) oltre ovviamente a limitare i danni materiali. Gli studi tesi al perfezionamento delle norme condurranno certamente ad un aumento della loro efficacia e a una più razionale distribuzione delle risorse.

Ma l'esistenza delle norme non esaurisce tutte le problematiche della difesa dai terremoti. Il problema più urgente è rappresentato dal fatto che sul Pianeta vi sono ampie zone sismiche in cui sussistono costruzioni non antisismiche, tipicamente nei centri storici di antiche città. Ciò che si verifica in numerosi siti italiani. Non mancano le tecnologie per intervenire sulle vecchie costruzioni ottenendo una resistenza paragonabile a quella delle moderne costruzioni antisismiche. È invece mancata (almeno in Italia) la messa in atto di un programma generalizzato di lungo respiro per l'adeguamento sistematico delle costruzioni non antisismiche esistenti.

Si tratta comunque di un processo che richiede tempi lunghi. E nel frattempo, si può far qualcosa per diminuire il pesante prezzo in termini di vite umane che le comunità pagano per gli inevitabili moti sismici?

Uno strumento di difesa, diverso ed indipendente dalle norme per le costruzioni, che ha destato grande interesse e grandi speranze verso la fine del secolo scorso è costituito dai cosiddetti "precursori sismici a breve termine", cioè quei fenomeni che talvolta sono seguiti, nella stessa zona e entro poche ore o pochi giorni, da un forte terremoto. Chiamiamo per brevità

F il fenomeno potenzialmente precursore ed E il forte terremoto che talvolta lo segue. Caratteristiche fondamentali di un precursore sono la probabilità di falso allarme  $p$  (probabilità che dopo un F non si verifichi E) e la probabilità di mancato allarme  $q$  (probabilità che un E non sia preceduto da F).

L'idea dell'esistenza dei precursori non è nuova (secondo alcuni risale almeno al 17<sup>o</sup> secolo /7/) ed è chiara l'importanza che avrebbe la conoscenza di un precursore affidabile; sia perché anche le costruzioni antisismiche comportano un rischio residuo, sia soprattutto perché le vecchie costruzioni non antisismiche sono all'origine di dolorose stragi.

Ma dopo gli entusiasmi degli anni '70 e '80, l'interesse degli studiosi per i precursori sismici è andato affievolendosi per alcuni motivi che è opportuno brevemente analizzare. Molti fenomeni (magnetici, elettrici, geometrici, geochimici...) sono stati posti sotto osservazione come Candidati alla qualifica di precursori sismici. Ma la raccolta dei dati statistici necessari per una stima delle caratteristiche  $p$  e  $q$  di uno specifico candidato precursore richiede tempi di osservazione molto lunghi perché, in ciascuna zona, i terremoti forti sono abbastanza rari. E d'altro canto, per la maggior parte dei fenomeni presi in esame come possibili precursori le osservazioni sistematiche hanno avuto inizio in tempi relativamente recenti, così che i dati finora raccolti non sono sufficienti per utili elaborazioni statistiche. Con la notevole eccezione delle "scosse premonitorie", le quali costituiscono un precursore ben documentato dalle numerosissime osservazioni raccolte nei cataloghi sismici disponibili. Si riscontra in particolare che in molte zone sismiche le scosse di magnitudo (M) medio-bassa (ad esempio dell'ordine di  $M = 4$ ) sono talvolta seguite da un terremoto violento. Discuteremo fra poco del peso della parola "talvolta", ma affermiamo fin d'ora che le scosse premonitorie meritano il nome che portano e lo hanno onorato nei decenni e forse nei secoli passati salvando molte vite umane.

Ciò è provato da diversi esempi, fra i quali è famoso il caso del terremoto di Haicheng (Cina, 1975) e rientra anche un caso italiano che merita un commento.

Nel settembre 1920 un violento terremoto ( $M = 6.4$ ) colpì la zona della Garfagnana causando gravi danni con il crollo di più di 100 edifici. Narrano le cronache che "il numero delle vittime è stato relativamente basso principalmente perché il terremoto fu preceduto il giorno prima da una scossa avvertita da tutti, a seguito della quale molti pernottarono all'aperto" /8/. Nel caso di Haicheng l'emergenza è stata dichiarata da una stazione sismografica e poi gestita dagli apparati della Protezione civile. Nel caso della Garfagnana non si ha notizia di interventi di Enti pubblici o di esperti: si trattò di un allarme sismico "fai da te" basato su un provvidenziale precursore.

E veniamo al significato quantitativo della parola "talvolta" che entra nella definizione del precursore. Per la zona della Garfagnana è stato stimato che su 100 scosse premonitorie solo 2 (in media) sono seguite da un terremoto violento. Diciamo quindi che il precursore ha una probabilità di falso allarme  $p = 98\%$ . Risultati analoghi sono stati trovati per il Friuli e l'Irpinia e

anche per la California meridionale, così che sembra lecito ritenere che le scosse premonitorie costituiscano, sì, un precursore, ma che la probabilità di un terremoto violento nel giro di pochi giorni (diciamo nella settimana successiva) è dell'ordine del 2%. Si tratta cioè di un precursore debole.

L'utilizzazione di un precursore debole non è suscettibile di un inquadramento schematico. La semplice regola "promulgare l'allarme dopo ogni scossa premonitrice" si scontra con grosse difficoltà a causa dell'eccessivo numero di falsi allarmi: Questi, infatti, oltre a comportare un "costo" sociale (sia in termini di costo vivo dei provvedimenti di prevenzione sia per il disturbo delle attività produttive) hanno negativa influenza sulla credibilità del sistema: troppo frequenti "al lupo, al lupo" senza l'arrivo del lupo vanificano in sostanza il sistema di allarme.

Sussistono tuttavia numerose ragioni per continuare a investire risorse nelle ricerche sui fenomeni precursori e sulle loro possibili utilizzazioni.

1. Come abbiamo poco sopra ricordato, con riferimento al precursore debole "scossa premonitrice" (SP), in diverse zone sismiche dai dati storici disponibili è stata tratta la stima che, nella settimana successiva ad una SP, il rischio di un terremoto violento sia dell'ordine del 2%. È un rischio piccolo in assoluto, ma è oltre 100 volte più grande del rischio-base di un simile evento in una settimana scelta a caso, indipendentemente da eventuali precursori. Il precursore segnala dunque un importante aumento temporaneo del rischio sismico: un segnale di fronte al quale la comunità scientifica e la Protezione civile devono chiedersi se e quali provvedimenti mettere in atto. E del resto il fatto è ben noto a grandi linee a chi dimora in zona sismica, per accumulo di conoscenze storiche incorporate nella cultura popolare.

Ma c'è di più. Contrariamente a quanto accadeva fino a pochi decenni orsono, i cittadini non si accontentano più delle approssimate conoscenze popolari e chiedono alla comunità scientifica informazioni più specifiche e anche suggerimenti sui possibili provvedimenti di prevenzione. Una informazione importante è il valore dell'aumento temporaneo del rischio sismico. Questo valore può essere stimato con ragionevole approssimazione se si dispone di un catalogo degli eventi della zona sufficientemente lungo. Altrimenti, accettando una più incerta approssimazione, è possibile affidarsi ai dati riguardanti zone sismogeneticamente simili.

I possibili provvedimenti di prevenzione vanno dalla diffusione di semplici regole comportamentali in caso di emergenza, alla selezione dei luoghi di raccolta, dalla organizzazione dell'evacuazione degli ospedali e del trasporto delle persone disabili al raduno di mezzi di soccorso provenienti da zone non esposte, all'evacuazione di edifici eventualmente già danneggiati, all'evacuazione di tutti gli edifici non antisismici (massimo allarme).

Che fare? Va da sé che prima di decidere se e quali provvedimenti adottare dovranno essere considerati tutti gli altri elementi a favore e contro ciascuna delle decisioni possibili. Ma una volta completata l'analisi, va bene affidare solo all'esperto (o gruppo di esperti) la responsabilità della decisione finale?

Autorevoli studiosi di psicologia sociale sostengono in generale che anche i cittadini non specialisti dovrebbero essere coinvolti nel processo decisionale. A loro dovrebbe essere fornita l'informazione scientifica disponibile discutendo i possibili provvedimenti di prevenzione. Nel caso delle scosse premonitorie, in particolare, il contributo dei cittadini può essere determinante sotto molti aspetti. Nessuno meglio di loro, ad esempio, è in grado di valutare il costo sociale di un eventuale falso allarme. Si dovrebbe in sostanza tendere ad un iter decisionale compreso da tutti e il più possibile condiviso.

È importante infine osservare che tutto l'iter decisionale (dalle premesse scientifiche agli sviluppi dell'analisi) è aperto alla critica metodologica; mentre non ha senso, a posteriori, e cioè a seconda che il terremoto poi si verifi oppure no, dire che gli avvenimenti reali dimostrano che la decisione presa era quella "giusta" (o quella "sbagliata"). Infatti in una impostazione probabilistica, il risultato di un singolo esperimento non può validare alcunché.

La critica metodologica è utile per migliorare le modalità di formazione della decisione.

In conclusione: le scosse premonitorie hanno in passato salvato molte vite umane grazie ad una tramandata conoscenza popolare e ad una intuitiva analisi costi-benefici. La comunità scientifica è chiamata a suggerire sempre migliori metodi di interpretazione di questo provvidenziale precursore, così da salvare, statisticamente parlando, un sempre maggior numero di vite umane.

2. Se il problema è "che fare quando viene registrata una SP", la probabilità di falso allarme  $p$  è la caratteristica del precursore che domina la scena. Ma la probabilità di mancato allarme  $q$  assume anch'essa un ruolo rilevante quando si analizza l'efficacia del precursore in un lungo periodo operativo e soprattutto quando si tenta di costruire un "sistema" precursore di buona efficacia utilizzando due precursori deboli. Questo secondo caso è di particolare interesse perché se due precursori segnalano contemporaneamente l'aumento del rischio sismico per i prossimi giorni, la probabilità che si tratti di un falso allarme può diminuire in modo sorprendente.

E valga l'esempio. Come abbiamo visto, la probabilità di falso allarme di una scossa premonitrice è circa  $p = 0.98$ . Per fortuna le cose vanno meglio per la probabilità di mancato allarme, che è circa  $q = 0.5$ . Supponiamo: a) di trovare un secondo precursore con uguali caratteristiche e b) che i due precursori soddisfino determinate condizioni di reciproca indipendenza. In tal caso la probabilità di falso allarme  $p''$  del sistema risulta  $p'' = 0.38$ . cioè la probabilità di un forte terremoto in tempi brevi passa dal 2%, se si dispone di un solo precursore, al 62% se a lanciare l'allarme è la "coppia" di precursori deboli.

3. L'esempio di cui sopra indica solo uno dei possibili sviluppi delle ricerche sui precursori, alle quali è auspicabile che la comunità scientifica torni con rinnovato vigore. A questo proposito notava Vere-Jones, una delle massime autorità scientifiche del campo: "... è paradossale che lo scetticismo circa la fattibilità della

previsione dei terremoti sembra aver raggiunto il suo massimo proprio quando per la prima volta la qualità e la quantità dei dati disponibili rendono particolarmente plausibile tale programma. Questo paradosso può rappresentare un cambio di paradigma, un tardivo riconoscimento che l'iniziale sogno di previsione deterministica, pur con qualche termine di errore aggiunto, deve essere sostituito con la più modesta ambizione di definire regioni con maggiore o minore rischio transitorio. E anche: ... il monitoraggio continuo di un vasto spettro di potenziali precursori può essere essenziale prerequisito per il successo della previsione dei terremoti" /9/. In effetti, la letteratura recente pare rispondere a questo invito. Basti il titolo "Earthquake prediction – Gone and back again" di un lavoro apparso nel 2009 /10/ a riassumere significativamente il risveglio di interesse sull'argomento.

In un discorso sugli strumenti di difesa dai terremoti non può mancare un cenno alla pianificazione degli interventi di riparazione e di ricostruzione a valle di un terremoto distruttivo. Mi sembra ancora di attualità la conclusione di un intervento da me presentato alla Conferenza Internazionale di Matera, poco dopo i terremoti del Friuli e dell'Irpinia, con riferimento ai casi in cui un villaggio viene in gran parte distrutto dal terremoto; distruzione alla quale purtroppo consegue anche un numero elevato di vittime. Conclusione che qui integralmente riporto: "In questi casi mi sembra che sia essenziale tener conto del fatto che il terremoto non produce soltanto il crollo delle costruzioni, ma anche profonde lacerazioni del tessuto sociale. Le relazioni fra gli individui della comunità, che formano il tessuto sociale, mutano improvvisamente, per la morte di molti, per il trasferimento di altri e per i danni alla struttura produttiva. La ricostruzione del villaggio non può essere programmata da una commissione di esperti, per bravi che siano: il villaggio deve rinascere sulla base delle nuove relazioni che si instaurano a mano a mano che il tessuto sociale si rimargina. È questa rimarginazione che occorre prioritariamente favorire investendo nella riparazione e, se necessario, nella espansione e riqualificazione della struttura produttiva. Creare posti di lavoro, provvedendo ad abitazioni dignitose ma chiaramente provvisorie, è il compito più urgente. Solo quando vedrà più chiaro nel proprio futuro la comunità potrà orientarsi per una ricostruzione definitiva dell'insediamento: in questa fase occorrerà che l'intera comunità nazionale sia disponibile per assistere finanziariamente e tecnicamente, ma senza imporre soluzioni prefabbricate".

## Riferimenti bibliografici

- /1/ Kahneman D., Slovic P., Tversky A. (eds.), 1982, "Judgment under uncertainty: Heuristic and biases", Cambridge Univ. Press.
- /2/ Torroja E., Paez A., 1952, "Calcul de coefficient de sécurité", VI Congress AIPC.
- /3/ Wiggins J.H., 1972, "The balanced risk concept, new approach to earthquake building code", Civil Engineering ASCE.

- /4/ Grandori G., Benedetti D., 1973, "On the choice of the acceptable seismic risk", Earthquake Eng. and Structural Dynamics.
- /5/ Grandori G., Petrini V., 1977, "Comparative analysis of the seismic risk in sites of different seismicity", Earthquake Eng. and Structural Dynamics.
- /6/ Schwing R.C., Albers W.A. jr (eds.), 1980, "Societal Risk Assessment: How Safe is Safe Enough?", Plenum Press, New York-London.
- /7/ Rikitake T., 1976, "Earthquake Prediction", Elsevier, Amsterdam.
- /8/ Boschi E. et al., 1985, "Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.c. al 1980", Ist. Naz. di Geofisica.
- /9/ Vere-Jones D., 1995, "Forecasting Earthquakes and Earthquake Risk", Int. Journal of Forecasting.
- /10/ Johnson B.F., 2009, "Earthquake Prediction – Gone and Back Again", Earth.