

*Be Prepared For
The Unpredictable Largest Earthquake*



International Seismic Safety Organization
Headquarters: Arsita (TE), Italy

**DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA E
DELLE SOLLECITAZIONI SISMICHE DI PROGETTO DELLE COSTRUZIONI
PER ASSICURARE LA PROTEZIONE DELLA POPOLAZIONE**

Data di emissione: 6 agosto 6, 2012

Riassunto

Le devastazioni prodotte da forti terremoti e dai fenomeni da questi indotti – ad esempio dagli eventi di Sumatra (Indonesia) del 2004 (terremoto e tsunami), di Wenchuan (Cina) del 2008, di Haiti del 2010 e di Tohoku (Giappone) del 2011 (terremoto e tsunami) – sottolineano l'assoluta necessità che i manufatti siano progettati e costruiti in modo da resistere al terremoto massimo credibile (*Maximum Credible Earthquake* - MCE), che deve eguagliare o superare il massimo evento storico, e che la popolazione sia informata di tale evenienza tempestivamente ed in modo adeguato. Occorre, infatti, che la sicurezza delle costruzioni e della popolazione sia garantita fino ai terremoti più pericolosi e distruttivi, che possono verificarsi in qualsiasi momento, indipendentemente dalla loro sporadicità. Pertanto, la definizione della pericolosità sismica mirata alla definizione delle sollecitazioni di progetto delle costruzioni deve considerare il MCE; inoltre, i piani di protezione civile devono considerare scenari per possibili eventi MCE.

L'analisi deterministica tradizionale (*Deterministic Seismic Hazard Assessment* o DSHA) per la stima della pericolosità sismica prevede l'uso del MCE ed è applicata con successo in California, fin dagli inizi degli anni '70, per determinare con affidabilità le sollecitazioni sismiche di progetto delle costruzioni (cioè il moto sismico del terreno a cui queste ultime sono soggette) e la sua variante perfezionata "Neo-DSHA" (NDSHA), pubblicata nel 2001, in Italia, si è dimostrata affidabile anche in base al confronto fra le stime NDSHA ed i dati osservati in occasione del recente terremoto in Emilia del maggio 2012. Pertanto, i metodi DSHA o NDSHA dovrebbero essere usati per definire i piani di azione atti a garantire la protezione della popolazione e per determinare le sollecitazioni sismiche di progetto delle costruzioni.

D'altra parte, l'attuale approccio probabilistico per la definizione della pericolosità sismica (*Probabilistic Seismic Hazard Assessment* o PSHA) si è dimostrato inadeguato ai fini suddetti, per i seguenti motivi:

(1) in occasione di molti terremoti distruttivi recenti i livelli di moto del suolo stimati in base al metodo PSHA e mostrati dall'attuale mappa globale di pericolosità sismica sono stati superati e, quindi, la pericolosità è stata sottostimata;

(2) al contrario, le stime di moto del suolo basate sui valori più alti forniti dal metodo PSHA per gli impianti nucleari (ad esempio per il sito di Yucca Mountain negli USA e per i siti in Europa considerati nell'ambito del progetto PEGASOS) sono invece irrealisticamente elevate, come è ben noto; in questi casi la pericolosità è stata sovrastimata;

(3) numerose pubblicazioni scientifiche recenti hanno messo in evidenza le pecche fondamentali (cioè matematica errata ed assunzioni non valide) del metodo PSHA ed hanno dimostrato che i risultati di tale metodo sono semplicemente "creazioni numeriche", senza alcuna aderenza alla realtà fisica; in altre parole, la pericolosità sismica è stimata in modo non corretto dal PSHA.

Questi tre punti riassumono problemi intrinseci del PSHA ed indicano che i risultati di questo metodo non sono né affidabili, né consistenti e non hanno alcun significato fisico. L'approccio DSHA produce, invece, risultati realistici, consistenti e con significato fisico confermato dal suo impiego pratico: quindi, è essenziale che il DSHA ed il suo perfezionamento NDSHA siano adottati per definire i piani di azione atti a garantire la protezione della popolazione e per determinare le sollecitazioni sismiche di progetto delle costruzioni.

Per la progettazione di strutture strategiche e pubbliche, nonché per gli impianti "a rischio d'incidente rilevante" (RIR) devono essere usate le sorgenti sismiche che hanno il maggior impatto sul sito d'interesse. Quelle che hanno il maggior impatto sulla regione d'interesse devono essere usate per la progettazione della gestione dell'emergenza nella regione stessa. Queste considerazioni, se attuate, riducono il rischio di grandi devastazioni e di perdite di vite umane nel caso di futuri terremoti e devono essere utilizzate in tutti i casi critici per garantire il più possibile l'incolumità pubblica.

I casi critici comprendono situazioni nelle quali le conseguenze di un disastro (cioè i rischi) sono troppo costose ed intollerabili, come illustrato negli esempi che seguono.

Definizione e comunicazione della pericolosità e del rischio

A parità di ogni altra condizione, il livello di "rischio" è direttamente legato alla "severità" dell'evento pericoloso. L'evento pericoloso, se definito sulla base di un terremoto di scenario realistico quale il MCE, considera automaticamente tutti i potenziali pericoli connessi in cascata e la sua applicazione assicura al meglio l'incolumità pubblica e l'integrità delle strutture.

La determinazione della magnitudo del MCE non dipende dal tempo e le stime di magnitudo sono sia "robuste" che affidabili, come è dimostrato dalle continue applicazioni fatte in California a partire dai primi anni '70. Questo è un vantaggio dei metodi DSHA e NDSHA rispetto al PSHA nella determinazione delle sollecitazioni sismiche di progetto delle costruzioni,

perché il MCE non dipende dai periodi di ritorno; è applicabile a qualsiasi progetto, per valutazioni di carattere economico o per stimare la vita utile delle strutture.

A parità di tutte le altre condizioni, un terremoto con una certa magnitudo causa una specifica pericolosità, connessa con il moto del suolo, che non dipende da quanto l'evento è raro. Pertanto, ai fini della mitigazione del rischio, non si devono scalare i parametri che definiscono la pericolosità sismica in base alla sporadicità degli eventi, ma è necessario usare terremoti di scenario realistici, come il MCE, basati sull'analisi della storia sismica e sull'identificazione di faglie sismogenetiche e zone capaci di generare forti terremoti, identificate tramite l'analisi morfostrutturale.

La pericolosità generata da diversi terremoti è una quantità discreta e può essere "confrontata" per determinare quali sorgenti sismiche controllano la pericolosità stessa. Quindi, per l'identificazione pratica delle sorgenti che controllano la pericolosità, occorre utilizzare il confronto (e non la somma) delle varie pericolosità derivanti dalle diverse sorgenti.

L'analisi della pericolosità sismica deve essere trasparente, coerente con la fisica del fenomeno e non eccessivamente complessa. Ciò è importante non solo per l'analista, ma anche per comunicare in modo efficace l'informazione riguardante la pericolosità a tutti gli interessati, inclusi gli amministratori pubblici. Il risultato dell'analisi di pericolosità deve essere utilizzato in combinazione con una valutazione di carattere professionale.

Quando le conoscenze scientifiche non permettono di giungere ad una conclusione, come ad esempio l'identificazione o meno di eventi minori quali *foreshocks* (scosse premonitrici) di un evento forte, la pericolosità deve "sempre" essere definita in modo conservativo come precauzione per la sicurezza della popolazione – una doverosa e non negoziabile linea di condotta dal punto di vista antropocentrico e del rapporto costi-benefici.

La morte di molte persone è una conseguenza assai peggiore di quelle derivanti dall'essere messi in guardia e dal prepararsi debitamente all'evento "violento" ipotizzato anche nel caso questo poi non avvenga. Ciò è messo in evidenza da quanto accadde in occasione del terremoto dell'Aquila, in aprile 2009, quando sarebbe stato possibile avvertire la popolazione di un terremoto che non era possibile escludere e prepararla ad affrontarlo: le vittime furono così molte, nonostante l'evento sia definibile di entità "moderata".

Quindi, la regola operativa deve essere quella di consigliare la popolazione, senza creare il panico, di stare all'erta e preparata alla possibilità del terremoto potenziale più forte, ad esempio al MCE. Argomenti quali i lunghi periodi di ritorno o la bassa frequenza come base per definire un terremoto "improbabile" portano ad un senso di sicurezza erroneo ed ingiustificato. Ciò è stato dimostrato dai terremoti dell'Aquila e di Tohoku, in occasione dei quali la bassa probabilità associata alla loro occorrenza non ha impedito il verificarsi di questi eventi e le loro disastrose conseguenze.

È molto più prudente per la società pagare modesti costi aggiuntivi o patire disagi per prepararsi alle conseguenze di eventi MCE, piuttosto che subire perdite irreparabili per aver ignorato o sottostimato eventi potenzialmente catastrofici. Questo concetto è razionale e ragionevole per una società civilizzata nella quale le conseguenze di un disastro (cioè i rischi) risultano essere troppo pesanti ed intollerabili.

La comunicazione della pericolosità e del rischio al pubblico deve essere chiara ed efficace e permettere l'effettuazione di azioni appropriate. Ciò può essere realizzato facilmente utilizzando stime di pericolosità basate sul DSHA o sul NDSHA, poiché tali stime sono facilmente comprensibili, trasparenti ed aderenti alla realtà fisica. La cosa diventa, invece, problematica quando si usano stime basate sul PSHA, perché l'approccio probabilistico è astratto ed una semplice "creazione numerica" che non può essere messa in relazione con la realtà fisica.

Fallimenti nelle dichiarazioni di emergenza sono, ovviamente, inevitabili, ma possono essere resi meno numerosi accumulando esperienza e sfruttando nuove tecnologie e metodologie disponibili.

Alcuni esempi recenti che dimostrano i vantaggi offerti dall'uso del DSHA e del NDSHA

1. Il terremoto dell'Aquila, Italia: 6 aprile 2009 (M=6,3)

La "base di accusa" per la richiesta di rinvio a giudizio della Commissione Grandi Rischi (CGR) in conseguenza delle vittime e dei grandi danni causati da un terremoto di magnitudo definibile "moderata" (6,3) non è "che non è stato promulgato uno stato di allarme", come è stato ampiamente diffuso da alcune importanti organizzazioni, anche internazionali, ma è che il rischio sarebbe stato comunicato impropriamente e che la pericolosità sismica prevedibile sarebbe stata sottostimata. L'accusa è che, nonostante fosse noto che la pericolosità ed il rischio sismico all'Aquila erano alti, la CGR giunse alla conclusione che un terremoto forte era "improbabile" trascurando quanto era a sua conoscenza ed anche in netta contraddizione e con "tradimento" scientifico delle stesse.

La ripetizione di una situazione come quella summenzionata è inaccettabile. Indipendentemente da quanto sia lungo il periodo di ritorno di un forte terremoto, le conseguenze di un possibile evento sismico devono essere sempre prese in considerazione. In particolare, occorre considerare: (a) l'entità del terremoto più forte che ci si può attendere; (b) l'entità del terremoto più forte che può essere definito su basi scientifiche; o (c) per lo meno l'entità dell'evento storico più forte. Il rischio associato a tali eventi deve essere comunicato alla popolazione in modo che la stessa possa prendere in considerazione il problema.

Se, in occasione del terremoto dell'Aquila, si fosse fatto uso delle stime di pericolosità basate sul NDSHA (esistenti dal 2000), considerando la magnitudo del MCE per la sorgente dell'evento (alla luce delle conoscenze sulla geologia regionale, sulla sismicità storica e sull'analisi morfostrutturale), ciò avrebbe potuto contribuire in modo considerevole alla riduzione degli effetti del disastro.

2. Terremoto di Tohoku, Giappone: 11 marzo 2011 (M=9,0)

L'impianto nucleare di Fukushima è stato danneggiato in modo spettacolare dallo tsunami (con onde alte 14 metri) causato dal megaterremoto compressivo avvenuto nella zona di subduzione del Pacifico. L'impianto, coerentemente con l'aver stimato come probabile terremoto massimo un evento di magnitudo 8-1/2, era stato progettato per resistere ad uno tsunami con onde di 5,2 metri ed è stato danneggiato. Casi di tsunami con onde alte, in prossimità della costa, fino a 40 metri, come quelle causate da questo terremoto, sono riportati nei documenti storici relativi alle coste orientali delle isole giapponesi. Quindi, la probabilità o la frequenza di un evento così come sono correntemente utilizzate non determinano in modo adeguato l'entità di tali sorgenti sismiche pericolose e pertanto sottostimano il rischio. L'evento più forte, definito in modo scientifico, sarebbe dovuto essere alla base della progettazione dell'impianto nucleare per evitare o ridurre disastri potenzialmente catastrofici, che poi si sono, invece, verificati.

Se fosse stato utilizzato il MCE di magnitudo M9+ e lo tsunami da esso derivante fosse stato considerato già nella fase di progettazione dell'impianto nucleare di Fukushima, ciò avrebbe certamente aiutato a ridurre in modo considerevole il danno causato dal megaterremoto. È quindi ragionevole, per proteggere la popolazione e per salvaguardare l'economia, usare, per le strutture critiche, una stima realistica e prudente della pericolosità sismica basata sul DSHA o sul NDSHA.

3. Terremoto dell'Emilia, Italia: 20 maggio 2012 (M=5,9)

La mappa PSHA, sulla quale si basa la normativa sismica italiana, indica che l'area epicentrale ricade in ex zona 3, con un'accelerazione massima orizzontale del terreno (*Peak Ground Acceleration* o PGA) $<0,175$ g al *bedrock* (cioè in corrispondenza del substrato). Invece, la mappa NDSHA, pubblicata per la prima volta nel 2001, indica valori di progetto della PGA *al bedrock* nell'intervallo [0,15 g-0,30 g], che comprende i valori effettivamente registrati ed è in buon accordo con essi, che sono attorno a 0,25 g. La mappa NDSHA, può quindi costituire una base essenziale, se non addirittura preferibile, per lo sviluppo della normativa antisismica in Italia ed in altre regioni del mondo.

Va infine osservato che alcuni eventi con magnitudo superiore a 5 si sono verificati il 29 maggio nella stessa area e che essi hanno causato un numero di vittime maggiore di quello causato dal terremoto del 20 maggio, probabilmente come risultato dell'indebolimento degli edifici danneggiati, della destabilizzazione di ulteriori edifici e dell'ora in cui si è verificato l'evento, oltre che della diversa posizione dell'epicentro e della diversa profondità ipocentrale.

Conclusioni

Per garantire la sicurezza della popolazione e per poter progettare strutture capaci di resistere ai forti terremoti futuri, occorre utilizzare la pericolosità sismica così come definita dal MCE, che supera tutti gli altri eventi alla base dei metodi DSHA e NDSHA; essa, cioè, deve essere utilizzata per le politiche di gestione dell'emergenza e per determinare le sollecitazioni sismiche

di progetto delle costruzioni. I metodi DSHA e NDSHA sono trasparenti, “robusti” e vantano una storia relativamente lunga di prestazioni affidabili.

Ci sono motivi impellenti che giustificano l’affermazione secondo la quale la definizione della pericolosità sismica in base al PSHA è insufficiente, se non addirittura inaccettabile, sia per garantire la sicurezza della popolazione che per determinare le sollecitazioni sismiche di progetto delle costruzioni. Infatti, il PSHA ha prodotto risultati non consistenti ed è semplicemente una “creazione numerica”, lontana dalla realtà fisica. Invece, i metodi DSHA e NDSHA hanno prodotto risultati consistenti e realistici.

Il DSHA ed il NDSHA sono trasparenti e possono essere comunicati al pubblico in modo chiaro e comprensibile, mentre il PSHA è complesso, astratto, non trasparente e difficile da comunicare al pubblico.

Il NDSHA ha dimostrato la propria affidabilità e superiorità rispetto al PSHA nell’evento che ha colpito l’Italia settentrionale nel maggio 2012, e può diventare una migliore base di partenza per lo sviluppo della normativa antisismica in Italia ed in altre regioni sismiche del mondo.

Fallimenti nelle dichiarazioni di emergenza sono, ovviamente, inevitabili, ma possono essere ridotti in numero accumulando esperienza e sfruttando nuove tecnologie via via disponibili.

---000---