

Uniform Hazard Spectra: ci crediamo ancora dopo Christchurch? (e dopo il Giappone?)

G.M. Calvi¹ ■

Fortuna, caso o lavoro efficace in quello che qualcuno definisce "tempo di pace" tra il terremoto del 9 marzo 1929 ed oggi?

Sono le parole con cui commentavo il terremoto che aveva colpito Christchurch il 4 settembre, rilevando l'incredibile assenza di vittime in un evento con Magnitudo 7.1, fuoco a 10 km, accelerazioni di picco registrate di 1.25 g ed epicentro a circa 30 km dal centro di una città di 373.000 abitanti¹ (Fig. 1).

Ora, dopo il nuovo evento nella stessa zona del 22 febbraio alle 12.51 locali, qualcuno potrebbe pensare di avere buone ragioni per contestare le mie parole, visto che l'attuale stima è di 165 vittime.

Tecnicamente, questa scossa può essere considerata un aftershock, con un prolungamento della rottura della faglia interessata dall'evento

del 4 settembre, prima ignota.

Un aftershock, peraltro, con magnitudo 6.3, profondità tra 0 e 5 km e localizzazione più prossima al centro della città, in area urbana.

Le discussioni sulla *prevedibilità* di questo secondo evento saranno numerose; forse qualche *public prosecutor* vorrà aprire procedimenti penali contro noti o ignoti, per fortuna con le limitazioni imposte dalla territorialità della giurisdizione.

Mi pare molto più interessante discutere quali lezioni dal terremoto potranno diventare elementi fondanti di innovazioni nelle logiche per la riduzione del rischio e per la progettazione di edifici ed opere infrastrutturali.

Poiché d'altra parte questa non può essere che la sede di qualche provocazione, mi limiterò ad utilizzare come base per la discussione le regi-

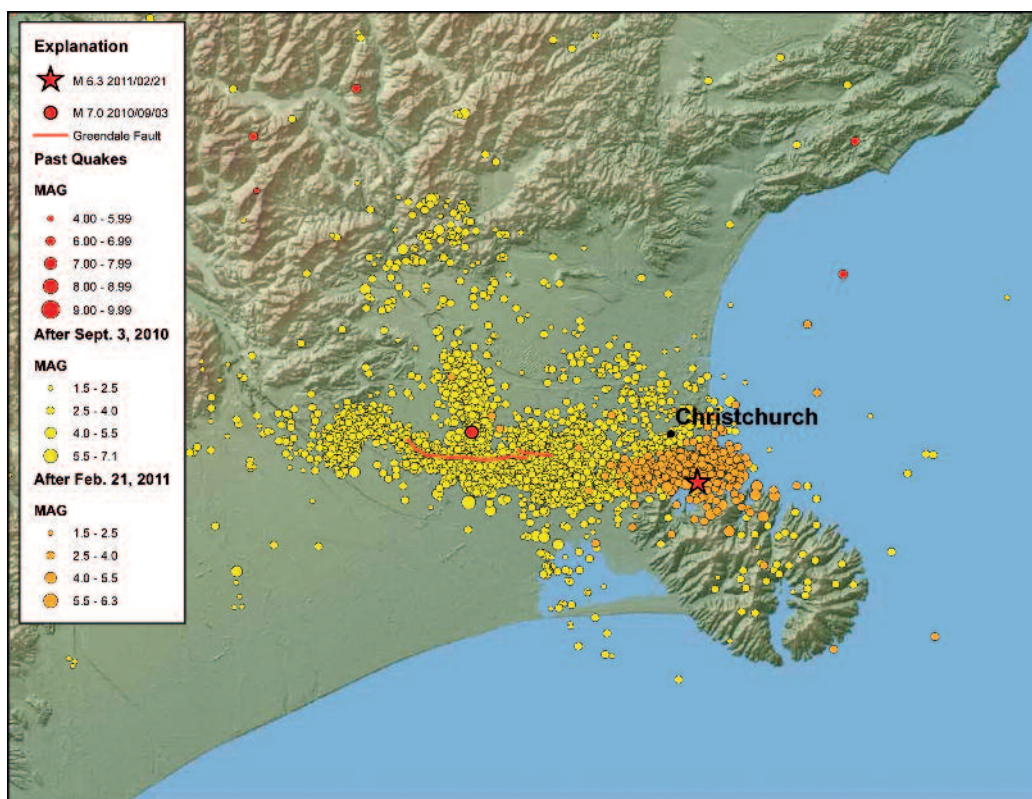


Fig. 1
Collocazione geografica delle scosse registrate dopo l'evento del 4 settembre (in giallo, epicentro in tondo rosso) e del 22 febbraio (in arancione, epicentro a stella). Fonte: USGS.

¹ Presidente, Fondazione Eucentre - Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica, Pavia.

² Questa rivista, editoriale "Due storie italiane di ingegneria sismica", numero 2 del 2010.

strazioni di una sola stazione, quella più prossima all'epicentro dell'evento di febbraio, confrontando i dati sperimentali con quelli suggeriti dalle norme per un evento con periodo di ritorno 475 anni.

Si noti allora come le accelerazioni di picco orizzontali al terreno (**PGA**) siano 0.2 g secondo le norme, siano circa 0.5 g secondo la registrazione dell'evento di settembre e siano circa 1.5 g per quello di febbraio (Fig. 2).

In quest'ultimo caso abbiamo quindi accelerazioni al terreno pari a circa sette volte il valore prescritto dalle norme.

Se si confrontano i valori di progetto nel campo di periodi di massima amplificazione, diciamo tra uno e cinque decimi di secondo, i valori delle norme sono circa 0.65 g, quelli dello spettro di settembre circa 1.5 g, quelli di febbraio circa 3 g, quasi cinque volte più alti di quanto previsto dalle norme.

Esaminando infine il solo spettro di febbraio in relazione alla componente verticale del moto, si leggono valori al terreno che superano i 2 g, e valori spettrali che arrivano a 5 g tra 1 e 2 decimi di secondo di periodo di vibrazione.

Una prima serie di interrogativi ha un sapore quasi retorico.

Si tratta di quelli che si riferiscono al tema "cosa sarebbe successo in una città italiana".

Lascio le risposte ai lettori, ricordando che le

attuali stime prevedono che i danni siano tali da non consentire riparazione ed adeguamento su circa il 30% degli edifici di Christchurch. Tra essi la casa di Nigel Priestley, che molti lettori conoscono, almeno di fama (Fig. 3).

Una seconda serie di interrogativi, molto più difficili, attiene al tema "è possibile, ed in tal caso come, progettare per spettri di risposta come quelli dell'evento del 22 febbraio?"

Ritengo che si debba rispondere positivamente alla domanda fondamentale - è possibile? - e mi riservo di tornare sull'argomento in un prossimo articolo per rispondere a quella secondaria, più difficile - come?

Questa opinione si riferisce però allo spettro dell'azione orizzontale.

Non saprei dire, e temo non sia facile dare una risposta, cosa comporti avere a che fare con accelerazioni verticali di qualche g.

La terza ed ultima serie di interrogativi riguarda le modalità di definizione dell'azione sismica in un contesto normativo, e nel caso specifico trova origine dalle enormi differenze riscontrate a Christchurch tra spettro delle norme ed eccitazione sismica reale.

È qui opportuno, forse necessario, introdurre una lunga premessa, che spero i lettori vorranno perdonare.

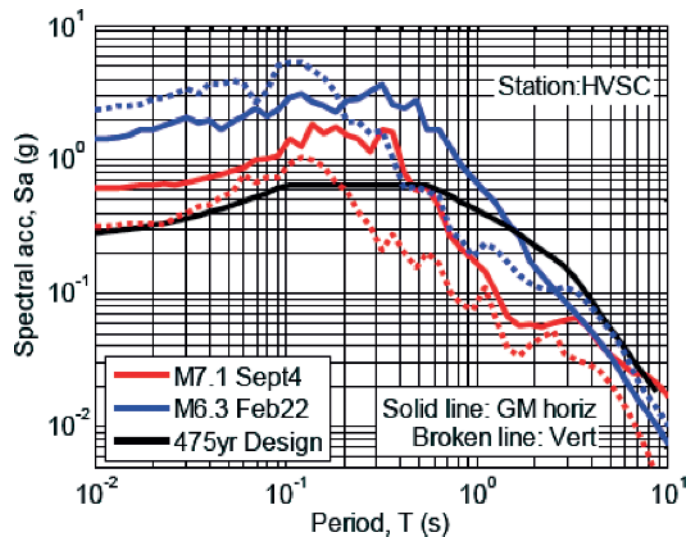


Fig. 2
 Spettri in accelerazione degli eventi del 4 settembre e del 22 febbraio, derivati dalle registrazioni alla stazione HSVC, confrontati con lo spettro di progetto delle norme Neozelandesi per un evento con periodo di ritorno 475 anni. Si noti:
 - le accelerazioni di picco orizzontali al terreno (PGA) sono 0.2 g secondo le norme (linea nera), circa 0.5 g per l'evento di settembre (linea rossa continua), circa 1.5 g per quello di febbraio (linea blu continua);
 - nel campo di periodo tra un decimo di secondo ed un secondo l'accelerazione di progetto da norma è circa 0.65 g, quella dello spettro di settembre circa 1.5 g, quella di febbraio circa 3 g;
 - la PGA verticale registrata in febbraio supera i 2 g, tra 1 e 2 decimi di secondo l'accelerazione spettrale verticale arriva a 5 g (linea blu tratteggiata).

(courtesy of Dr. Brendon Bradley, Lecturer at the University of Canterbury).



Fig. 3
La casa di Nigel Priestley, su un promontorio a circa 2 km dall'epicentro. L'accelerazione stimata al terreno supera i 2 g. Si notino i crolli dell'architrave della finestra centrale dell'edificio a sinistra, del timpano dell'edificio a destra, del parapetto del terrazzo in corrispondenza della vistosa fessura. I danni sono tali da poter comportare la demolizione dell'edificio. (Courtesy of Nigel Priestley).

In generale gli spettri di progetto definiti in contesti normativi moderni sono approssimazioni più o meno conservative di *spettri a pericolosità uniforme* (*uniform hazard spectra - UHS*), ancorati a specifici valori di periodi di ritorno di livelli di scuotimento connessi a definite prestazioni della struttura (è ad esempio comune associare uno stato di danno significativo ad un periodo di ritorno di 475 anni).

Uno spettro a pericolosità uniforme è teoricamente caratterizzato da ordinate con identico periodo di ritorno ed è calcolato attraverso una valutazione probabilistica della pericolosità (*probabilistic seismic hazard assessment - PSHA*) (Fig. 4).

Ciò comporta la valutazione, per ciascun periodo di ritorno, di diverse ordinate spettrali, ciascuna prodotta teoricamente da eventi con localizzazione e magnitudo diverse, procedendo quindi ad una *disaggregazione della pericolosità*, che consideri separatamente tutti gli eventi teoricamente possibili in una specifica area geografica.

Spesso una *PSHA* è utilizzata per la sola stima dell'accelerazione di picco al terreno per un dato periodo di ritorno (*PGA*), ancorando ad essa una forma spettrale unica fissata dalle

Spesso una *PSHA* è utilizzata per la sola stima dell'accelerazione di picco al terreno per un dato periodo di ritorno (*PGA*), ancorando ad essa una forma spettrale unica fissata dalle

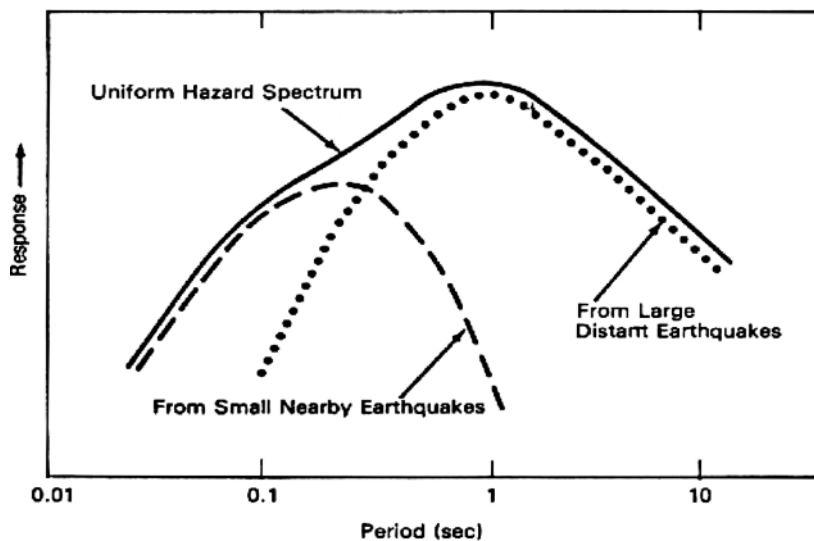


Fig. 4
In una valutazione probabilistica della pericolosità (*probabilistic seismic hazard assessment - PSHA*) forme spettrali prodotte da due eventi con distanza e magnitudo diverse, e che producono livelli di scuotimento con identico periodo di ritorno, contribuiscono in modo diverso alla definizione delle ordinate spettrali di uno spettro a pericolosità uniforme per quel periodo di ritorno (da Reiter, 1990³).

³ Reiter, L. (1990), *Earthquake Hazard Analysis*, Columbia University Press, New York.

norme, quindi non producendo neppure teoricamente un **UHS**.

In effetti comunque, indipendentemente dalle procedure utilizzate per definire **PGA** e forme spettrali, gli edifici in una certa area geografica saranno poi colpiti da un evento sismico specifico, che solleciterà edifici diversi con azioni diverse.

Dopo la lunga premessa alcune considerazioni. La logica della **PSHA** risulterebbe più convincente se una struttura subisse nel corso della sua vita un numero rilevante di eventi sismici, offrendo quindi prestazioni diverse in funzione di ciascuno di essi. In realtà è probabile che la struttura subisca al massimo un evento, considerando il periodo di ritorno dei terremoti e la vita utile della struttura. È anche probabile che questo evento abbia epicentro vicino e magnitudo relativamente bassa oppure che l'epicentro sia lontano e la magnitudo più elevata, e allora la struttura può essere stata inutilmente progettata per un'azione molto più rilevante. In caso di evento a magnitudo molto elevata, le strutture che si trovassero in prossimità dell'epicentro, saranno probabilmente sollecitate da azioni molto superiori a quelle usate per la progettazione.

In effetti, quando si esaminino i risultati di studi di disaggregazione della pericolosità si noterà come gli **UHS** siano generalmente dominati da piccoli eventi geograficamente vicini, poiché quelli forti assumono rilevanza probabilistica solo con epicentro lontano.

Il caso di un evento forte e vicino sembra diventare probabilisticamente significativo solo quando si considerino periodi di ritorno estremamente lunghi.

E dopo le considerazioni due domande (forse provocatorie).

Supponiamo che la componente fondamentale nella definizione della pericolosità di un sito derivi da un solo evento, con un intervallo medio di ricorrenza pari al doppio del periodo da considerare per un certo livello di prestazione.

In tal caso è ragionevole progettare per un'azione dell'ordine della metà di quella caratterizzante l'evento atteso?

Si può allora forse concludere che si possono avere solo due situazioni: in un caso il terremoto non arriva e l'edificio è stato progettato in modo inutilmente conservativo, nell'altro il terremoto arriva e l'edificio non è in grado di rispettare i

requisiti prestazionali richiesti (e magari crolla). Ha davvero senso tentare di progettare definendo in modo continuo e raffinato curve di pericolosità, forme spettrali eccetera, o si dovrebbe valutare il possibile ritorno a definizioni dell'input con soglie distanziate, meno raffinate?

Il problema è stato implicitamente posto in un recente articolo pubblicato da Stucchi et al. sul *Bulletin of the Seismological Society of America*, laddove, proprio con riferimento alle norme italiane, si dice: *l'aspetto positivo degli spettri di progetto delle NTC08 è che gli edifici dovrebbero avere un livello di rischio uniforme, indipendentemente da localizzazione e periodo di vibrazione; quello negativo è che la definizione dell'azione in funzione della localizzazione elimina l'incremento di sicurezza implicitamente incluso in un approccio a zone sismiche uniformi.*⁴

Forse la differenza nell'azione potrebbe essere modesta, ma ci si risparmierebbero un sacco di complicazioni.

La domanda finale era il titolo dell'articolo: crediamo ancora alla necessità di usare spettri a probabilità uniforme?

Poi è arrivato il terremoto in Giappone.

$M_w = 8.8, 8.9, 9.0$.

In fondo cosa importa?

È arrivato lo tsunami che ha fatto 10000 vittime, senza lasciare il tempo per un *early warning*.

Soprattutto sono arrivati dati registrati con accelerazioni al terreno a Kurihara-machi, nella prefettura di Miyagi di 2.933 g⁵. Accelerazioni registrate a Tokyo, a 370 km dall'epicentro, di 0.26 g, con durate di 2 minuti e domande di spostamento ancora ignote, ma che si possono immaginare superiori a 1 metro.

Non ho più domande pseudo tecniche e pseudo scientifiche.

Ne ho una da giornalista.

Guardate la carta dell'Italia ed il cerchio rosso (Fig. 5). Avremmo ancora un Paese?

GIAN MICHELE CALVI

⁴ Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E., Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code, *Bulletin of the Seismological Society of America*, accepted.

⁵ Questo e tutti i dati citati sul terremoto in Giappone derivano da informazioni mandate da Shunshuke Otani.



Nota

Questo editoriale è di natura provocatoria e molti degli aspetti scientifici sono trattati in modo superficiale e talvolta "romanzato". Ad esempio, gli spettri a pericolosità uniforme (UHS) vengono messi in discussione in modo strumentalmente forte; l'early warning in Giappone c'è stato, ma il breve tempo a disposizione e la mancanza (in diversi casi) di luoghi elevati in prossimità della costa ne hanno limitato l'efficacia. Infine, la probabilità che si verifichi a L'Aquila

un terremoto di magnitudo simile a quello giapponese è estremamente bassa, a causa della situazione sismotettonica radicalmente diversa che non consente il necessario accumulo e rilascio di energia. Invitiamo tuttavia i lettori, anche occasionali, a mandare brevi note di commento, auspicando l'apertura di un dibattito tra figure diverse: ingegneri, sismologi, funzionari pubblici, politici, avvocati, economisti, magistrati. Saremo lieti di pubblicare eventuali note sul prossimo numero di questa rivista.

Fig. 5 Il cerchio rosso sulla carta dell'Italia corrisponde approssimativamente ad una distanza di 370 km da L'Aquila. Cioè la distanza di Tokyo dall'epicentro del terremoto dell'11 marzo in Giappone.