

Gaetano Manfredi*
 Lunio Iervolino**

Prospects and goals regarding the
 safety of buildings in seismic zones

Prospettive e traguardi per la sicurezza delle costruzioni in zona sismica

Sebbene i recenti eventi come il terremoto di Haiti del gennaio 2010 possano far sembrare non sorprendente che tra i disastri naturali i terremoti sono stati la prima causa di perdite di vite umane nel ventesimo secolo, forse è meno noto che il rischio sismico può seriamente minacciare l'economia globale. Infatti, a seguito delle tendenze di urbanizzazione che porteranno verosimilmente, in pochi decenni, ad avere la maggior parte della popolazione concentrata in alcune decine di *megacittà* da più di cinque milioni di abitanti, un terremoto forte come quello di San Francisco nel 1906 (magnitudo 8) che colpisse una di esse potrebbe causare effetti quasi irrecuperabili a livello globale. Sono scenari di questo tipo oltre, che le perdite «straordinarie» che le nazioni soggette a terremoti devono continuamente sopportare (in Italia più di 130 miliardi di euro dal 1968 al 2005) a dare un impulso costante alla ricerca nel campo dell'ingegneria sismica, soprattutto in Europa. È, infatti, qui che è presente un *patrimonio costruito* con un ciclo di vita giocoforza molto lungo e la cui gestione in termini anche di rischio sismico è una sfida che altre nazioni, pur molto avanzate nel settore strutturale, come gli Stati Uniti e il Giappone hanno in misura inferiore. È proprio la valutazione della sicurezza e l'adeguamento sismico degli edifici esistenti, oltre che la progettazione delle strutture nuove, dove si sta investendo di più con grandi progetti di ricerca che vedono coinvolte grandi infrastrutture sperimentali collegate a livello internazionale, perché l'unicità e la scala delle opere di ingegneria civile non consentono di avanzare lo stato di conoscenze se non con grandi sinergie di ricerca.

Questa grande mole di risorse va sempre di più verso lo sviluppo di un approccio alla sicurezza strutturale orientato al controllo delle *conseguenze* dell'impatto di un evento sismico sulla costruzione, proprio perché per la gestione del rischio sismico a scala nazionale necessita che lo stesso sia tenuto in conto quantitativamente in ogni applicazione pratica dell'ingegneria. Ciò richiede un approccio alle questioni di ricerca fortemente interdisciplinare sia dal lato della razionale (ma probabilistica) valutazione dell'intensità terremoto che interesserà l'opera (ossia la *pericolosità* sismica del sito di costruzione) sia per quanto riguarda l'utilizzo di tecnologie e materiali non tradizionali mutuati da settori comunemente considerati più avanzati come quello *automotive* o aerospaziale. Come si vedrà nel seguito, ciò tende a

un settore ad alto livello di innovazione, infatti, le prassi di ingegneria sismica basate sulla prestazione globale dell'opera e sulle conseguenze sono già implementate nelle normative sismiche più recenti che spesso consentono l'utilizzo di soluzioni tecnologiche molto avanzate come l'impiego di materiali compositi o il controllo in fase di progetto della dinamica strutturale. Molte di queste tecnologie sono già ingegnerizzate ed efficacemente impiegate, come mostra il recente caso della gestione del post terremoto a L'Aquila.

Conseguenze indesiderate, prestazioni strutturali e normative sismiche

È facile condividere che una corretta progettazione strutturale di un edificio nuovo o l'adeguamento sismico di uno esistente è tale se le conseguenze attese dell'impatto di un terremoto sono, per così dire, «accettabili». Tuttavia, ammesso che sia disponibile una quantificazione di quali perdite sono tollerabili per una data struttura, una razionale progettazione che sia in grado di garantire che esse si manterranno al di sotto del limite durante la vita dell'opera è un processo complesso che richiede di integrare per via probabilistica diverse componenti attraverso il diagramma di flusso della figura 1. Esso, infatti, non solo richiede un'accurata valutazione del comportamento dinamico della struttura in oggetto ma non può prescindere dalla determinazione dell'intensità dei terremoti che la possono interessare durante tale periodo di tempo, il che dipende strettamente dalla sismicità del sito di costruzione. Quest'approccio definito come *prestazionale* rappresenta lo stato dell'arte per la valutazione del rischio sismico perché utilizza strumenti raffinati sia per la fase 1, in cui necessita di competenze sismologiche di base, sia nelle fasi 2 e 3 in cui gli stru-



1. La valutazione della prestazione strutturale e delle perdite conseguenti nel suo approccio più completo

menti di analisi strutturali devono essere in grado di cogliere il comportamento strutturale e il conseguente danneggiamento. Infine bisogna essere in grado di valutare i costi legati all'impatto dell'evento.

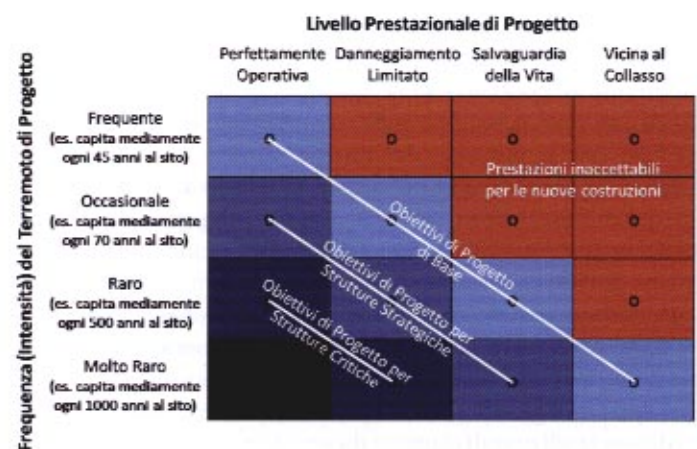
Sebbene l'approccio prestazionale applicato alla progettazione di ogni singola struttura sia un obiettivo di medio se non di lungo periodo per la pratica professionale, le normative sismiche recenti come ad esempio quella italiana, già ora ne tengono in qualche modo conto. Infatti, esse impongono che la struttura sia progettata perché garantisca un certo livello di prestazione definito in relazione alla sua destinazione d'uso e importanza strategica cambiando, quindi, la concezione tradizionale della sicurezza. Per le costruzioni ordinarie come quelle residenziali è giusto, anche economicamente, che l'obiettivo prestazionale sia quello per cui nel caso dell'occorrenza di un terremoto di rara intensità per la sismicità del sito e cioè che capita con una probabilità bassa durante la vita della struttura (si ricordi che i terremoti più rari sono più intensi e viceversa), essa sia in grado di *salvaguardare la vita* degli occupanti pur essendo irrimediabilmente danneggiata, mentre nel caso di un terremoto più frequente e quindi meno intenso la stessa struttura subisca *danni limitati* e riparabili. Nel caso di un ospedale invece, è probabile che un altro obiettivo prestazionale, non contemplato in precedenza, sia anche quello per cui in caso di un terremoto la struttura sia *operativa* immediatamente dopo l'evento, per la gestione del rischio sismico e delle emergenze, infatti, è necessario che tale struttura mantenga la funzione cui è destinata. Quindi, non solo la sicurezza si declina ora in più obiettivi prestazionali per una stessa struttura e diversi per strutture con funzioni diverse, ma anche le azioni (i terremoti di progetto) cambiano in base alla ricorrenza dei terremoti e cioè all'effettiva sismicità del sito. Le normative recenti tendono a sintetizzare in questi obiettivi prestazionali (o *stati limite*) l'approccio descritto in precedenza per renderlo implementabile semplicemente dal progettista. In pratica, il livello di perdita attesa accettabile è surrogato dal livello prestazionale obiettivo. Il progettista, progettando con regole adeguate la struttura perché abbia il comportamento desiderato rispetto ai molteplici obiettivi prestazionali, implicitamente garantisce che la struttura in caso del terremoto di progetto per quell'obiettivo prestazionale determini perdite accettabili (fig. 2).

Nuove tecnologie in ingegneria sismica

L'evoluzione negli ultimi decenni approccio prestazionale, che richiede al progettista di definire e prevedere il comportamento dell'opera in caso di sisma, ha dato impulso all'impiego di nuove tecnologie e sia per le strutture nuove sia per l'adeguamento di quelle esistenti. Le nuove tecnologie per le strutture in zona sismica si traducono, per le nuove costruzioni,

in sistemi atti a controllarne il comportamento globale. Probabilmente il più conosciuto e diffuso di questi sistemi, per la sua semplicità concettuale e di progettazione oltre che per la sua efficacia, è l'isolamento sismico. L'isolamento è una tecnica per cui si pongono alla base dell'edificio una serie di elementi (ad esempio di materiale elastomerico o d'acciaio con una certa curvatura che fungono da pendoli) molto deformabili che in caso di terremoto prendono tutto lo spostamento che questo impone lasciando praticamente non sollecitato da alcuna forza l'edificio che è, di fatto, disaccoppiato dal moto del terreno e che al più oscilla molto dolcemente durante il terremoto. Il sistema è anche rinentrante, per cui dopo l'evento si ripristina completamente la situazione prima del sisma (fig. 3, sinistra). Quindi l'isolamento, oltre all'indubbio vantaggio di non trasferire le forze sismiche alla struttura, fa sì che anche le componenti non strutturali (es. gli impianti) e i beni ospitati non siano caricati di forze d'inerzia e perciò non siano danneggiati. Questo aspetto è molto importante perché è ormai noto che le perdite legate ai terremoti sono sempre più connesse ai beni contenuti più che il danno alla costruzione vera e propria, il quale costituisce solo una frazione del valore totale (fig. 3, destra). Infine, la scarsa danneggiabilità degli impianti rende questo sistema adatto alle strutture strategiche come quelle ospedaliere che in questo modo possono essere subito operative dopo il terremoto.

Sistemi come quello dell'isolamento, per la loro stessa natura, sono particolarmente adatti per strutture nuove, mentre nel caso di strutture esistenti può essere necessario intervenire localmente per compensare delle deficienze specifiche. È il caso per esempio delle strutture in cemento armato costruite senza o con obsolete regole per tenere conto dell'azione sismica che sono molto frequenti nel sud Europa e nel bacino del Mediterraneo.



2. Obiettivi prestazionali recepiti dalle recenti normative per le costruzioni in zona sismica

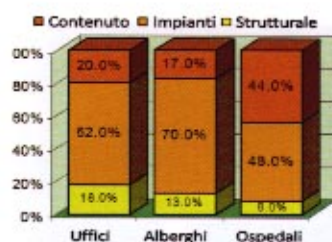
Questi edifici spesso possono presentare una spiccata fragilità delle zone di intersezione tra travi e pilastri (i cosiddetti *nodi*) perché essi sono poco importanti nel caso la struttura sia progettata per soli carichi verticali, mentre svolgono un importante ruolo nel comportamento sismico delle strutture. Siccome questo è un problema molto diffuso, rafforzare in modo mirato solo queste zone può garantire un elevato incremento della capacità della struttura di sopportare terremoti forti; al tempo stesso l'intervento può essere economicamente sostenibile a media/larga scala.

Per venire soddisfare queste esigenze sono state sviluppate tecniche di rinforzo basate su materiali quali le plastiche fibrorinforzate (es., compositi con fibre di carbonio, vetro, etc.) che per la loro estrema resistenza e leggerezza possono essere «incollati» alla struttura in cemento armato compatando (*confinando*) le zone di interesse in modo da aumentare la resistenza globale senza appesantire la struttura (fig. 4). Per la loro efficacia e scarsa invasività gli interventi di *miglioramento* o *adeguamento* sismico con materiali compositi sono particolarmente indicati anche per le strutture ad interesse monumentale e storico in cui è fondamentale preservare non solo l'aspetto dell'opera ma anche limitare il più possibile la alterazione della concezione strutturale originale, la quale anch'essa ha un significativo valore.

Le questioni aperte

In questa breve nota si sono discussi alcuni dei percorsi seguiti negli ultimi decenni dall'ingegneria sismica in cui l'Europa è un attore principale sulla scena internazionale, sia dal punto di vista dell'approccio alla progettazione sia per quanto riguarda le tecnologie più avanzate per il miglioramento del comportamento strutturale.

Si è anche mostrato come molti recenti avanzamenti della ricerca in questo settore siano già applicati nella pratica, tuttavia molti temi rimangono ancora aperti e sono in fase di studio. Essi riguardano soprattutto la valutazione sismica di edifici complessi come le strutture in muratura conglobate in aggregati edilizi di cui sono costituiti i centri storici europei e l'efficace protezione sismica degli elementi non strutturali che come si è visto determinano la maggior parte del valore economico delle ingenti perdite sofferte nei terremoti.



3.



4.

3. La ripartizione delle perdite da terremoti in funzione del tipo di danno (sinistra) e il sistema di isolamento con pendoli a frizione adottato nel progetto C.A.S.E. per ospitare a medio termine la popolazione colpita dal terremoto de L'Aquila dell'aprile 2009
4. Un edificio migliorato sismicamente con compositi in Abruzzo a seguito del terremoto de L'Aquila

Among natural disasters earthquakes are the first cause of human loss around the world and concentrated in countries with seismically poor constructions, while in developed nations seismic events often knock seriously the economy of the affected communities and impact the gross national product. This calls for improving resilience of societies to earthquakes and explains why significant research investments are undergoing in the field of earthquake engineering, especially in Europe, letting the technologies to determine and assure the structural safety to evolve rapidly. In the paper the recent achievements and the current trends of research in structural earthquake engineering are reviewed and discussed with the purpose to show how close they are to practice.

* Direttore del Dipartimento di Ingegneria Strutturale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e presidente del consorzio della Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica - ReI.U.S.

** Ricercatore del Dipartimento di Ingegneria Strutturale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II