

Terremoti e sicurezza strutturale degli edifici

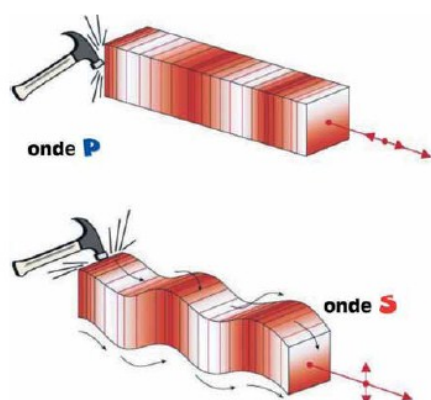
Alfonsina Di Fusco – ANDIL Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi

“La sismologia non sa dire quando, ma sa dire dove avverranno terremoti rovinosi, e sa pure graduare la sismicità delle diverse province italiane. Quindi saprebbe indicare al governo dove sarebbero necessari regolamenti edilizi più e dove meno rigorosi, senza aspettare che prima il terremoto distrugga quei paesi che si vogliono salvare” (Giuseppe Mercalli, 1908).

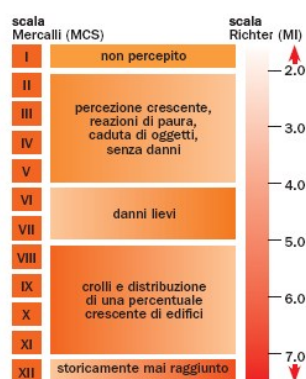
Terremoti: perché, come, dove e quando

È la “Sismologia” la scienza che studia i movimenti rapidi ed improvvisi della Terra, detti “terremoti”. Un terremoto si manifesta come moto vibratorio del terreno che ha origine in un punto più o meno profondo del pianeta (*ipocentro*, punto del sottosuolo che, proiettato in superficie, corrisponde all’*epicentro*) da cui si sprigionano onde sismiche, e per questo può essere definito anche scossa sismica. Lo scuotimento della crosta terrestre è provocato dai movimenti delle zolle o placche, in cui è suddiviso l’involucro solido esterno della Terra; quando lo sforzo a cui sono sottoposte le rocce supera il loro limite di resistenza, queste si rompono lungo superfici chiamate faglie. L’energia accumulata, prima della rottura, si libera sotto forma di onde sismiche che si propagano, quindi, in tutte le direzioni. Le principali onde sismiche o elastiche sono dette di tipo P (*primae*) e S (*secundae*).

Le onde P sono le più veloci e sono definite “longitudinali”, perché fanno oscillare le particelle di roccia nella direzione di propagazione, determinando una successione continua di compressioni e dilatazioni; le onde S causano, invece, un moto vibratorio del materiale roccioso che avviene trasversalmente rispetto alla direzione di propagazione e creano variazione di volume al loro passaggio. Le onde P viaggiano a una velocità che è circa 1,7 volte superiore a quella delle onde S, precedendole, come si evince dalle registrazioni sismografiche.



Onde sismiche principali: In alto le onde P; in basso, le onde S (fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).



Le misure del terremoto: intensità e magnitudo (fonte: Protezione Civile).

La valutazione quantitativa della forza di un terremoto può avvenire mediante registrazione di strumenti – misurando la *magnitudo* – o con riferimento all’osservazione degli effetti che ha provocato – stimando l’*intensità* macrosismica. La *magnitudo* è stata definita nel 1935 dal famoso sismologo C.F. Richter come misura oggettiva della quantità di energia elastica rilasciata nel processo di rottura nella crosta terrestre; può essere calcolata a partire dall’ampiezza delle onde sismiche registrate dai sismografi, ed è espressa attraverso un numero puro. L’*intensità* di un terremoto, invece, quantifica e classifica esclusivamente gli effetti in superficie, generati sull’ambiente, sulle cose e sull’uomo. Pertanto, a differenza della *magnitudo*, per uno stesso terremoto essa può assumere valori diversi in luoghi diversi. Di norma, l’*intensità* diminuisce con l’aumentare della distanza dall’epicentro. L’*intensità* di un terremoto viene espressa con la scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg). *Magnitudo* ed *intensità* macrosismica hanno significati diversi; tuttavia, è possibile stabilire una correlazione approssimativa. Gli effetti che una scossa sismica provoca dipendono non solo dalla forza del terremoto, ma anche da altri fattori, come la distanza dall’epicentro, le caratteristiche di resistenza e duttilità degli edifici, i requisiti dei terreni su cui essi sono costruiti, la morfologia del territorio, ecc. La registrazione di un sismogramma permette di ottenere numerose informazioni; ad esempio, la

differenza tra il tempo di arrivo delle onde S e delle onde P consente la stima della distanza dell'*epicentro* dalla stazione di acquisizione.

I terremoti non avvengono ovunque, ma quasi esclusivamente lungo le superfici di contatto tra le placche con regimi tettonici differenti. La scienza, oggi, non è in grado di prevedere il tempo ed il luogo esatto in cui avverrà un eventuale terremoto: la sola previsione possibile è di tipo statistico, basata sulla conoscenza degli eventi sismici del passato, che permette di individuare le zone in cui la frequenza e l'entità siano state maggiori e quindi dove è più probabile che si verifichi un nuovo evento sismico.

Data	Area epicentrale	Intensità (MCS)	Magnitudo* (Mw)	Vittime
8 settembre 1905	Calabria	XI	7.1	557
23 ottobre 1907	Calabria meridionale	VIII-X	5.9	167
28 dicembre 1908	Reggio C. – Messina	XI	7.2	85.926
7 giugno 1910	Irpinia - Basilicata	VIII-X	5.9	50 ca.
15 ottobre 1911	Area Etnea	X	5.3	13
8 maggio 1914	Area Etnea	IX	5.3	69
13 gennaio 1915	Marsica Abruzzo (Avezzano)	XI	7.0	32.610
26 aprile 1917	Val Tiberina	IX	5.8	20 ca.
29 giugno 1919	Mugello	IX	6.2	100 ca.
7 settembre 1920	Garfagnana	IX-X	6.5	171
27 marzo 1928	Carnia (Friuli)	VIII-X	5.7	11
23 luglio 1930	Alta Irpinia	X	6.7	1404
30 ottobre 1930	Senigallia	IX	5.9	18
26 settembre 1933	Maiella	VIII-X	5.7	12
18 ottobre 1936	Veneto-Friuli	IX	5.9	19
21 agosto 1962	Irpinia	IX	6.2	17
15 gennaio 1968	Valle del Belice	X	6.1	296
6 maggio 1976	Friuli	X-X	6.4	965
23 novembre 1980	Irpinia-Basilicata	X	6.9	2734
26 settembre 1997	Umbria-Marche	VIII-X	6.1	11
31 ottobre 2002	Molise	VIII	5.4	30
6 aprile 2009	Abruzzo	VIII-X	6.3	308
20 e 29 maggio 2012	Pianura Padano-Emiliana	VII-VIII	6 e 5.8	27

* La magnitudo momento (Mw) - stimata dall'USGS "United States Geological Survey"- è derivata dal parametro sismologico momento sismico che equivale al prodotto tra area di faglia, dislocazione e resistenza delle rocce. La magnitudo Richter o locale (MI) si riferisce, invece, alla relazione, calibrata da Richter, secondo cui ad ogni aumento di ampiezza di 10 volte delle onde sismiche con frequenza pari a 1 Hz equivale un aumento di un grado magnitudo.

I maggiori terremoti italiani del XX e XXI secolo.

Comportamento sismico degli edifici

Costruire e risanare in sicurezza è possibile se si impiegano validi strumenti di mitigazione del rischio sismico. Di fatto, la problematica sismica degli edifici trova efficace soluzione nella conoscenza delle strutture edilizie e di come queste rispondono alle azioni sismiche. Seguendo i principi della *gerarchia delle resistenze*, la progettazione degli elementi strutturali consente di prevedere non solo le modalità di innesco e propagazione dei danni, ma anche la loro posizione d'origine che dovrà essere, pertanto, localizzata laddove gli effetti risultano meno pericolosi e di più semplice intervento. L'obiettivo è quello di sfruttare la duttilità dei materiali e dei sistemi costruttivi favorendo i meccanismi che possono mettere in gioco tale proprietà, come la flessione, rispetto ad altri meccanismi di rottura di tipo fragile, come il taglio. Le costruzioni sottoposte anche a forti terremoti non crollano se sono in grado di subire deformazioni più o meno grandi. L'energia trasferita alle strutture in elevazione attraverso le fondazioni va, infatti, in qualche modo dissipata; il danneggiamento è la più evidente e naturale forma di dissipazione. Ad esempio, un edificio in cemento armato resiste a forti sismi se il dimensionamento e la realizzazione dei singoli elementi strutturali tengono

in debito conto la peculiarità del c.a., ovvero che in questo composito coesistono due materiali con proprietà assolutamente differenti: il calcestruzzo (fragile) e l'acciaio (duttile).

Una tipica casa in muratura, per resistere idoneamente ad un intenso terremoto, occorre che si comporti come una scatola in cui tutte le parti siano ben collegate tra di loro. Le chiese e gli edifici storici hanno mostrato di poter difficilmente resistere a terremoti violenti come le nuove costruzioni, a meno che non si intervenga con opere che risultano essere, nella maggior parte dei casi, particolarmente costose, piuttosto complesse e più delle volte invasive; tali costruzioni sono caratterizzate da alti livelli di vulnerabilità, presentandosi con pareti molto alte e/o con luci importanti, senza intersezioni intermedie, con elementi spingenti (tipo volte, archi, e talvolta tetti), quasi sempre con materiali tra loro legati in modo incoerente e, soprattutto, con ripetuti interventi e modifiche succedutisi nel tempo che ne hanno incrementato la vulnerabilità al sisma.

Negli ultimi decenni, numerose sperimentazioni hanno certificato la validità sismica della muratura armata, ottenuta con l'inserimento di armatura orizzontale (nei giunti di letto) e verticale (in apposite cavità ricavate con l'impiego di blocchi speciali) nel sistema della struttura muraria. Le diverse tecnologie disponibili (ad armatura diffusa o concentrata; con blocchi a fori verticali o orizzontali, ecc.) sono in grado di assicurare elevate prestazioni di duttilità, consentendone l'impiego anche per costruire pareti molto alte (6 ÷ 8 m), tipiche degli stabilimenti industriali, palazzetti dello sport, centri commerciali, ecc. Di fatto, seguendo i criteri di progetto, le specifiche caratteristiche e i metodi di analisi fissati dalle norme in vigore sono realizzabili in zona ad alta sismicità costruzioni in muratura armata senza vincolo sul numero di piani, a patto

che siano soddisfatte tutte le verifiche di sicurezza. Per gli edifici "semplici" in muratura portante (ossia quelli che presentano precise condizioni di regolarità geometrica e particolari limitazioni), inoltre, sono ammesse verifiche in via semplificata con l'opportunità di costruire fino a tre piani per muratura ordinaria e fino a quattro piani per muratura armata, in funzione della pericolosità sismica del luogo. Alla muratura ordinaria, d'altro canto, ugualmente con le soluzioni di ultima generazione (appositamente ottimizzate al fine di garantire proprietà termiche superiori), viene riconosciuta una buona risposta sismica con adeguati margini di sicurezza per le azioni relative anche a zone classificate a media pericolosità.

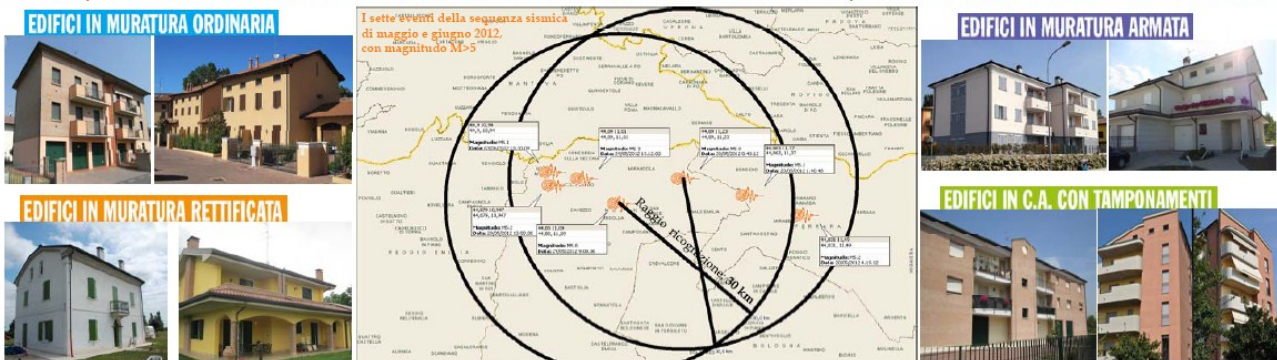
L'affidabilità e la sicurezza strutturale delle costruzioni moderne in muratura ordinaria (tradizionale e del tipo rettificata) e armata in laterizio sono state ampiamente confermate, ancora una volta, a seguito dell'importante sequenza sismica del 2012 in Emilia: più di 50 edifici di recente realizzazione esaminati nel post-sisma hanno superato i terremoti senza presentare alcun danno, né agli elementi strutturali, né a quelli non strutturali, sebbene abbiano sofferto azioni di intensità maggiore di quanto previsto dalla normativa vigente.

Requisiti geometrici delle pareti in laterizio resistenti al sisma (tabella 7.8.11 e par. 4.5.4 - NTC08), dove: t_{min} è lo spessore minimo; h_0 l'altezza libera d'inflessione; t lo spessore al netto dell'intonaco; l la lunghezza; h' l'altezza massima delle aperture adiacenti.

Tipologie costruttive	t_{min}	(h_0/t)	$(l/h')_{min}$
Muratura ordinaria con elementi artificiali, zone 3, 2, 1	240 mm	12	0,4
Muratura armata con elementi artificiali, zone 3, 2, 1	240 mm	15	qualsiasi
Muratura ordinaria con elementi artificiali forati, zona 4	240 mm	20	-
Muratura ordinaria con elementi artificiali semipieni, zona 4	200 mm	20	0,3
Muratura ordinaria con elementi artificiali pieni, zona 4	150 mm	20	0,3

Terremoto in Emilia: ricognizione post-sisma di edifici in laterizio

A seguito delle numerose sequenze sismiche di intensità anche superiori* a quelle previste dalla normativa NTC08, gli edifici rilevati non presentano alcun danno: né agli elementi strutturali, né a quelli non strutturali. Il valido comportamento durante i recenti terremoti emiliani testimonia l'assoluta affidabilità strutturale del laterizio e consente di riaffermare la piena conformità e sicurezza delle costruzioni in laterizio in zona sismica!



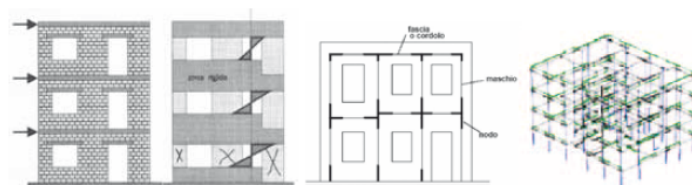
Tecnologie antisismiche avanzate, che forniscono ottimi risultati in termini di riduzione della vulnerabilità, per la difesa del patrimonio edilizio e infrastrutturale (dei ponti, in particolare), sono sicuramente quelle basate sull'uso di apparecchi che controllano la risposta sismica di una struttura. I dispositivi antisismici si distinguono in diverse tipologie in relazione al principio di funzionamento. Gli "isolatori", o dispositivi di isolamento, sono i più studiati e adoperati sul territorio nazionale ed, in linea di principio, possono essere applicati a qualsiasi tipo di struttura. Essendo fondamentalmente apparecchi di appoggio, svolgono la funzione principale di sostegno dei carichi verticali, con elevata rigidità in direzione verticale e bassa resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti nel piano orizzontale. A tale essenziale compito è, in genere, associato quello di dissipare energia e ricentrare il sistema successivamente all'evento sismico.

Sicurezza strutturale delle costruzioni in muratura

La progettazione e la costruzione di un nuovo edificio in muratura strutturale presuppone un'attenzione preliminarmente, come suddetto, alla sua concezione ed organizzazione complessiva. Le pareti portanti, gli orizzontamenti e le fondazioni devono presentare una configurazione tridimensionale che assicuri la resistenza alle azioni verticali ed orizzontali (vento e sisma), in modo che l'organizzazione dell'intera struttura, l'interazione ed il collegamento tra le sue parti possano favorire un comportamento d'insieme di tipo "scatolare". Tali presupposti, insieme ad una certa regolarità distributiva ed opportuna sezione muraria nelle due direzioni principali, assicura il raggiungimento di reali riserve di resistenza per un edificio in muratura nei confronti dell'azione sismica, consentendone anche una progettazione estremamente semplificata che non impone lo svolgimento di alcuna analisi strutturale e/o verifica di sicurezza dettagliata.

Il vantaggio dell'utilizzo di regole di verifica più semplici, secondo le Norme tecniche per le costruzioni (NTC, D.M. 14/01/2008), riguarda tuttavia costruzioni con specifiche condizioni di regolarità, che diventano maggiormente stringenti nel caso di azioni sismiche. Va precisato, poi, che solo per "costruzioni semplici" ricadenti nelle zone sismiche 2 (moderata pericolosità), 3 (bassa pericolosità) e 4 (minima pericolosità) non c'è l'obbligo di ulteriori analisi e verifiche strutturali. La progettazione di un edificio che non rispetti solo uno dei attributi classificanti le "costruzioni semplici" prevede invece il ricorso al calcolo esteso mediante l'applicazione dei metodi di analisi e delle verifiche di sicurezza, come disciplinato dalle NTC.

Dovendo procedere ad una progettazione sismica approfondita con analisi numeriche globali e verifiche locali puntuali è ragionevole, quindi, avvalersi dell'ausilio di un apposito software di calcolo strutturale, in grado di valutare nella maniera più realistica possibile le risorse di resistenza ai terremoti. In particolar modo per gli edifici in muratura, l'affidabilità di un modello di calcolo risulta sostanzialmente legata ad una valida schematizzazione del comportamento meccanico degli elementi strutturali ed alla possibilità di definirne e controllare i limiti di capacità deformativa in base ai potenziali meccanismi di rottura che possono instaurarsi. Le strutture in muratura, essendo caratterizzate da un comportamento non lineare, di fatto risultano rappresentate più significativamente attraverso un'analisi statica non lineare (cosiddetta "pushover").



Modello a telaio equivalente: le intersezione tra elementi verticali e orizzontali possono essere considerate infinitamente rigide.

Ulteriori approfondimenti sull'uso del laterizio negli edifici resistenti ai terremoti, sulle soluzioni antisismiche e sugli strumenti per costruire in sicurezza è possibile consultare online il flipbook di Edizioni IMREADY: [Dossier@2014 "Costruire in laterizio in zona sismica"](#)