

LA SICUREZZA SISMICA DELLE SCUOLE ITALIANE

Mauro Dolce
Professore di Ingegneria sismica
Università della Basilicata

Summary

La situazione italiana della sicurezza delle scuole viene esposta in questa memoria facendo riferimento ad alcuni studi effettuati su un vasto campione di scuole dell'Italia Meridionale, alle ricerche svolte nell'ambito del progetto SAVE del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, nonché alla più recenti esperienze dell'autore nelle indagini svolte in Basilicata e in Molise, a seguito del terremoto del terremoto di S.Giuliano del 31.10.2002. Vengono discussi i principali fattori di vulnerabilità sismica e la loro influenza sui diversi tipi costruttivi, anche riferiti ai diversi livelli di scuola. Infine vengono illustrate le problematiche relative alle azioni da intraprendere per la riduzione del rischio sismico, anche in relazione alle iniziative avviate dalla recente Ordinanza 3274/2003.

Introduzione

I danni prodotti dal terremoto del Molise del 31.10.2002 e dalle successive scosse hanno evidenziato una situazione comune in Italia alla gran parte del territorio nazionale prima della nuova classificazione: molti dei comuni colpiti dal terremoto non erano classificati come aree sismiche e le loro strutture erano state costruite senza l'adozione di criteri e provvedimenti antisismici. Pertanto i danni sono stati superiori a quanto ci si potesse aspettare per un terremoto di magnitudo moderata. Il tragico crollo della scuola Iovene in S. Giuliano di Puglia ha, in particolare, richiamato l'attenzione di tutto il mondo sul problema della sicurezza sismica delle scuole.

Il problema della vulnerabilità e del rischio sismico delle strutture pubbliche e strategiche, particolarmente degli edifici in cui si svolgono importanti funzioni (scuole, ospedali, etc.) era stato già affrontato in un'estesa indagine effettuata nel 1996 (Progetto LSU – Lavori Socialmente Utili), nel quadro di un progetto finalizzato al miglioramento della conoscenza del rischio sismico dell'Italia Meridionale. In quell'occasione furono rilevati 20420 edifici scolastici di ogni livello (dagli asili nido alle università), praticamente l'intero patrimonio edilizio scolastico

dell'Italia Meridionale. Molte elaborazioni statistiche furono effettuate al fine di ottenere una prima valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici rilevati.

Nella prima metà del 2002, prima del terremoto del Molise, è stato iniziato un progetto di ricerca nazionale nell'ambito delle attività del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, il progetto GNDT-SAVE, coordinato dall'autore, che cerca di sfruttare tutti i dati disponibili per migliorare la conoscenza della vulnerabilità degli edifici pubblici, e particolarmente delle scuole. Questo progetto è in fase di avanzato sviluppo e sta conducendo a risultati di notevole utilità.

Dopo il terremoto del Molise, l'attenzione generale si è concentrata sulle scuole, mettendo in grande evidenza il problema della loro elevata vulnerabilità. Il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile ha cercato immediatamente di comprendere le cause generali di tale inadeguatezza, promuovendo quindi le azioni atte a produrre una nuova zonazione sismica del territorio italiano e una nuova normativa sismica. Cinque mesi dopo il terremoto, fu emanata l'Ordinanza 3274 del P.C.M., nella quale veniva stabilito che tutti gli edifici pubblici e strategici, tra i quali scuole e ospedali, nonché le infrastrutture in aree sismiche, devono essere verificate nei successivi cinque anni, al fine di attivare programmi di adeguamento sismico fondati su una solida base di conoscenza del patrimonio edilizio pubblico. Alla stessa ordinanza era allegata la nuova classificazione sismica e la nuova normativa sismica.

Nel frattempo, e indipendentemente dall'azione del DPC, numerose amministrazioni locali di Province e Comuni avevano iniziato ad effettuare le prime valutazioni del rischio sismico delle scuole di loro competenza. L'autore è stato particolarmente coinvolto nelle valutazioni svolte in Molise e in Basilicata. Una grande quantità di dati di grande dettaglio si è resa disponibile, così da permettere di valutare il livello di vulnerabilità degli edifici scolastici, di comprendere le cause e di studiare le contromisure per mitigare il loro rischio sismico.

In questa memoria viene proposta una sintesi delle informazioni provenienti dalle diverse fonti e dalla personale esperienza, al fine di individuare le cause principali della vulnerabilità sismica delle scuole e di identificare le maggiori esigenze da soddisfare per ridurre il loro rischio sismico.

Cause della vulnerabilità e del rischio sismico degli edifici scolastici

Numerose sono le ragioni per cui molti degli edifici scolastici italiani sono vulnerabili al terremoto. Le più frequenti sono:

- l'inadeguatezza della classificazione sismica e della normativa fino al 2003,
- la configurazione architettonica,
- una progettazione ed un'esecuzione spesso carenti nei dettagli costruttivi e nei materiali
- la scarsa manutenzione
- le modifiche strutturali effettuate successivamente alla costruzione

Molti di questi fattori hanno contribuito a determinare il crollo della scuola di S. Giuliano (Augenti et al., 2004), cui si aggiungeva una notevole amplificazione locale della scossa, proprio nell'area in cui sorgeva la scuola.

Esaminando i fattori di rischio sopra enumerati, si possono svolgere le seguenti considerazioni.

Per quanto riguarda la zonazione sismica, la fig. 1 mostra l'evoluzione della classificazione in Italia nel secolo passato. Si può vedere che la prima zonazione fu fatta dopo il terremoto di Messina del 1908, quando fu classificata in zona sismica l'area danneggiata da quel terremoto e da un altro che aveva colpito la Calabria poco prima. Le nuove costruzioni in quell'area avrebbero dovuto seguire le prime norme sismiche italiane emanate contestualmente alla classificazione nel 1909, dopo aver svolto una serie di studi per determinare quali fossero le cause principali dei crolli e come prevenirli. Provvedimenti analoghi furono presi fino al 1980, dopo ogni terremoto distruttivo. Pertanto a quella data, solo le aree che avevano subito danni significativi durante il 20mo secolo, ossia solo il 25% del territorio italiano, erano classificate in zona sismica e le costruzioni edificate in quelle aree dopo la loro classificazione, erano progettate con la normativa sismica vigente all'epoca.

Nel 1981, dopo il terremoto dell'Irpinia e Lucania del 23.11.1980, fu fatta una zonazione sismica più razionale, perché basata sulla storia sismica di diversi secoli, che portò a classificare circa il 45% del territorio nelle zone sismiche di prima, seconda e terza categoria. Le costruzioni nel rimanente 55% del territorio non erano soggette ad alcun provvedimento antisismico. Nei successivi 20 anni notevoli progressi furono fatti nella conoscenza della pericolosità sismica del territorio italiano, concretizzatisi nel 1998 in una proposta di nuova classificazione da parte di un gruppo di lavoro istituito dalla Protezione Civile, che comprendeva rappresentanti delle maggiori istituzioni scientifiche operanti nel campo (Gruppo nazionale per la Difesa dai Terremoti, Istituto Nazionale di Geofisica, Servizio Sismico Nazionale). In tale proposta, circa il 70% del territorio era posto in zone di classe 1, 2 o 3. Tutto ciò rimase, purtroppo, solo al livello di proposta, fino al 2003, con la nuova classificazione nazionale (v. fig. 2), che accogliendo tale proposta, riconosceva anche che tutto il territorio nazionale è più o meno soggetto ad eventi sismici, classificando in una nuova zona 4 il rimanente 30% del territorio nazionale non incluso nelle zone 1, 2, 3.

Per quanto riguarda la normativa sismica, nel 1974 la Legge 64 stabiliva delle regole per l'aggiornamento periodico delle norme sismiche, così da seguire costantemente i progressi tecnico-scientifici. Nel 1986, per la prima volta, veniva affrontato nella normativa il problema degli edifici esistenti. Nonostante le buone intenzioni della legge, purtroppo l'aggiornamento delle norme non ha seguito gli effettivi sviluppi degli studi e delle ricerche teoriche e sperimentali sulla progettazione sismica, cosicché la normativa sismica italiana non ha subito significativi miglioramenti fino al 2003. Essa trattava principalmente la resistenza delle strutture, trascurando l'ottenimento di un'adeguata duttilità, prerogativa essenziale perché le strutture possano sostenere terremoti violenti senza crollare. Per di più, fino al 1996, nessuno specifico criterio di limitazione della deformabilità che potesse limitare i danni non strutturali sotto terremoti di intensità medio-bassa era contenuto nelle norme. In pratica si può dire che gli edifici italiani, tra cui quelli scolastici, progettati secondo le norme pre-1996 hanno normalmente carenze che conducono ad un elevato rischio di collasso sotto terremoti violenti e un alto rischio di danno non strutturale sotto terremoti di intensità moderata.

Come si può vedere in fig. 3, in cui è riportata l'età degli edifici scolastici dell'Italia Meridionale (dati del progetto LSU) in forma di curve di distribuzione delle frequenze cumulative, circa il 70% degli edifici in c.a. sono stati costruiti prima del 1980, mentre questa frazione sale a più del

95% per gli edifici in muratura. Ciò significa che gran parte degli edifici in c.a. e quasi tutti gli edifici in muratura sono stati progettati senza criteri antisismici, e dunque che il loro rischio sismico è, particolarmente nelle zone a maggiore sismicità, molto alto. Per quanto riguarda gli edifici in c.a., il progetto per soli carichi verticali spesso conduce ad una struttura con telai resistenti solamente o prevalentemente in una direzione. In tale direzione la struttura può anche risultare adeguatamente rigida e dotata di una sovrarresistenza che permetterebbe di sostenere terremoti di intensità moderata, ma nella direzione debole non ci sono strutture resistenti alle azioni orizzontali o, al massimo, i soli telai perimetrali. Ciò comporta una grande flessibilità e sovrarresistenze non adeguate a sostenere azioni sismiche. Inoltre l'eccessiva deformabilità determina gravi danni alle parti non strutturali (tamponature esterne e tramezzature interne) anche per terremoti di bassa intensità.

Una seconda importante causa di vulnerabilità sismica degli edifici scolastici è la configurazione architettonica e strutturale. Molto spesso diverse funzioni debbono essere svolte in un edificio scolastico, cosicché diversi tipi di ambienti sono richiesti (aule, laboratori, palestra, teatro, aula magna). Se le differenti funzioni debbono essere svolte nello stesso edificio, esso quasi sempre avrà forma irregolare e/o molto articolata, sia in pianta che in elevazione. L'irregolarità di forma degli edifici, che spesso si traduce in irregolarità strutturale, è una caratteristica molto sfavorevole alle loro prestazioni sotto sisma, determinando concentrazioni di danno in alcune specifiche parti o in singoli piani, fino a causarne il collasso. Oltre a ciò, altre peculiarità degli edifici scolastici, connesse alle funzioni svolte all'interno, influiscono in modo sfavorevole sul loro comportamento sismico. Gli edifici scolastici, infatti necessitano di ampie finestre, per illuminare le aule e le palestre, e di ampie porte, oltre che di aule grandi e prive di "ostacoli" strutturali (pilastri), e dunque di grandi luci strutturali. Se si guarda alle conseguenze prodotte dalle grandi luci e dalle grandi aperture nella configurazione degli edifici in muratura, si evidenzia immediatamente come i maschi murari resistenti siano generalmente molto snelli e con un'area resistente talvolta inadeguata rispetto ai pesanti carichi verticali che debbono sostenere contemporaneamente all'azione del terremoto. Spesso gli edifici hanno lunghi corridoi che servono le aule, e che separano completamente la facciata dal resto della struttura muraria. Per gli edifici in c.a., le ampie aperture nelle tamponature possono dar luogo a irregolarità in pianta, e dunque ad effetti torsionali d'insieme, e in elevazione, e dunque al cosiddetto piano soffice, così da creare debolezze locali e domande di duttilità inammissibili. L'eccessiva altezza d'interpiano, spesso dettata dalla presenza della palestra e/o un'aula magna, aumenta la deformabilità della struttura e il pericolo di caduta dei pannelli di tamponatura sotto terremoti anche di bassa intensità. Nella fig. 4 sono mostrate alcune configurazioni planimetriche di scuole superiori e inferiori, che mostrano le irregolarità in pianta, le ampie finestrate e le grandi luci strutturali che caratterizzano gli edifici scolastici. Nella fig. 5 sono mostrate alcune immagini di edifici scolastici con ampie aperture e grandi altezze d'interpiano.

Altre importanti cause di vulnerabilità sono la bassa qualità dell'esecuzione e la scarsa manutenzione. Il calcestruzzo degli edifici pre-1980 è spesso di qualità inadeguata. La sua resistenza è spesso inferiore a quella di progetto. La corrosione delle barre di armatura e la caduta del copriferro di calcestruzzo sono alcune delle conseguenze della scarsa manutenzione delle strutture in c.a.. Insufficienti lunghezze di ancoraggio e di sovrapposizione nelle giunzioni delle armature sono difetti frequenti nelle vecchie strutture in c.a.. I solai degli anni '50 e '60 sono talvolta inadeguati, sia in termini di rigidità che di resistenza, per svolgere correttamente

l'azione di redistribuzione delle forze sismiche tra le strutture verticali, sia negli edifici in muratura che in quelli in c.a.. Negli edifici in muratura, la struttura è spesso costituita da blocchi naturali di forma irregolare, legati con malta di cattiva qualità, così da ottenere una bassa resistenza del corpo murario. Per di più, le connessioni tra pareti murarie e solai di piano o di copertura non sempre sono capaci di garantire un buon comportamento globale dell'edificio. Edifici tra loro adiacenti spesso sono separati da giunti totalmente inadeguati. In fig. 6 sono mostrati alcuni esempi dei difetti di costruzione e di manutenzione appena descritti.

Una causa aggiuntiva di vulnerabilità degli edifici sono i cambiamenti subiti durante la loro vita utile, particolarmente dagli edifici in muratura, quali, ad esempio, sopraelevazioni, nuove aperture, sostituzione o aggiunta di pesanti coperture, etc.. Tutto ciò spesso si traduce in un incremento delle masse, un decremento dell'area resistente, nell'introduzione di irregolarità strutturali, etc., con il risultato di incrementare la vulnerabilità sismica dell'edificio.

A volte, ma non raramente, le scuole sono sistemate in edifici privati, progettati come edifici per abitazioni. Tralasciando i problemi di compatibilità con gli standard funzionali delle scuole e la probabile inadeguatezza ai carichi verticali di servizio (pari a 2 kN/mq per le abitazioni e a 3.5 kN/mq per le scuole), una maggiore vulnerabilità si osserva spesso per il numero di piani usualmente più elevato e per una progettazione meno conservativa (maggiori tensioni di compressione nelle colonne). Nell'indagine effettuata per la Provincia di Potenza, è risultato che circa il 15% dei 78 edifici scolastici esaminati erano privati e tre di essi erano tra i cinque edifici con la vulnerabilità più elevata.

Una specificità positiva, comune a molti edifici scolastici, particolarmente delle scuole materne ed elementari, è di avere un numero di piani limitato (da uno a tre). Non è inusuale, inoltre, che il progettista fosse più cautelativo dello stretto necessario (adottando ad esempio dimensioni sovrabbondanti per le colonne), anche quando la struttura non doveva rispettare criteri antisismici. Per questo motivo si riscontra una grande variabilità nella resistenza sismica di edifici scolastici diversi. Tuttavia, proprio perché molti edifici sono stati progettati per soli carichi verticali o per norme sismiche di vecchia concezione, nello stesso edificio si riscontrano resistenze diverse alle azioni laterali, tra i diversi piani e nelle due direzioni ortogonali.

Le cause di vulnerabilità di cui sopra possono essere ulteriormente specializzate ai diversi livelli di scuola, per le loro specifiche caratteristiche:

- Scuole medie superiori: sono gli edifici più grandi e più alti, spesso con struttura in c.a., la cui costruzione è relativamente recente. Le differenti funzioni (aule, laboratori, palestre, etc.) vengono spesso svolte in edifici separati, con caratteristiche strutturali diverse. Le caratteristiche di vulnerabilità dipendono fortemente dalle singole situazioni progettuali, per le notevoli differenziazioni tra i diversi edifici e plessi scolastici.
- Scuole medie inferiori: hanno dimensioni e numero di piani intermedi. Il tipo di struttura dipende dall'epoca di costruzione dell'edificio. Per gli edifici in c.a. valgono le considerazioni svolte per le scuole medie superiori, pur valendo la condizione, generalmente favorevole, di un numero di piani inferiore. Per gli edifici in muratura, sono preponderanti le considerazioni relative alle dimensioni delle aperture e all'ampiezza

delle luci, ma non è da trascurare la qualità della muratura stessa, in relazione al numero di piani presenti.

- Scuole elementari: normalmente hanno uno o due piani solamente, specie quando sono situati in piccoli comuni, raramente hanno più di tre piani. Il tipo di struttura dipende dall'epoca di costruzione. Gli edifici di epoca anteriore al 1940 hanno normalmente struttura in muratura. Facendo riferimento a questa tipologia, la vulnerabilità può essere elevata se le aperture (finestre e porte) e le luci strutturali sono molto ampie, altrimenti è, mediamente, abbastanza bassa.
- Asili nido: sono i più piccoli e hanno spesso un solo piano con struttura in muratura. Se le cause di vulnerabilità sopra esposte non sono particolarmente esasperate, la dimensione molto contenuta di questi edifici determina una vulnerabilità mediamente bassa.

Le considerazioni sopra riportate prescindono, ovviamente, da situazioni patologiche estreme e particolari, legate ad una qualità pessima dei materiali e/o dell'esecuzione, ad interventi di ampliamento e sopraelevazioni che possano aver fortemente compromesso la stabilità strutturale anche a livello locale.

Misure per la riduzione della vulnerabilità e del rischio sismico degli edifici scolastici

Occorre considerare due differenti problemi:

- (i) Garantire un'adeguata sicurezza sismica agli edifici scolastici nuovi
- (ii) Migliorare la sicurezza degli edifici scolastici esistenti

Il primo punto è innanzitutto legato alla corretta scelta del livello di rischio accettabile, in confronto ad altri rischio dentro e fuori la scuola. Attualmente le norme sismiche prescrivono un incremento del 20% dell'intensità del terremoto di progetto rispetto agli edifici ordinari ad uso abitativo. Il costo aggiuntivo di costruzione è di qualche punto percentuale. Tuttavia nuove strategie e tecnologie per la protezione sismica delle costruzioni, quali l'isolamento sismico, permettono di ottenere livelli di sicurezza molto più elevati, con la possibilità di evitare il danno agli elementi non strutturali ed al contenuto anche per terremoti di elevata intensità e, infine, di evitare il panico nelle persone. Il surplus di costo rispetto ad una normale costruzione antisismica è ancora dell'ordine di qualche punto percentuale, ma può risultare anche nullo, se non negativo, in relazione alla configurazione dell'edificio ed al numero di piani. Ma non c'è dubbio che i vantaggi in termini di comportamento sismico ripagano ampiamente la maggiore spesa iniziale. È opinione dell'autore che l'adozione dell'isolamento sismico dovrebbe essere prioritaria nella costruzione di nuove scuole, almeno nelle aree più sismiche. Ovviamente le altre questioni relative agli standard costruttivi e manutentivi debbono essere attentamente considerati, essendo cruciali almeno quanto una buona progettazione, indipendentemente dal tipo di protezione sismica adottata.

Molto più complesso è il problema delle scuole esistenti. Come detto, molte scuole hanno livelli di sicurezza largamente inadeguati, ma il livello di rischio è fortemente variabile da edificio a edificio, anche in assenza di progettazione antisismica. Il primo passo è, ovviamente, il miglioramento della conoscenza del livello di rischio di ciascun edificio scolastico in un dato

ambito territoriale (provincia, regione, etc.). Non è un compito facile e non può essere trattato con le metodologie correntemente utilizzate per gli edifici ordinari, a causa della grande varietà dei tipi di edificio e per l'ampia variabilità dei livelli di sicurezza di edifici pur dello stesso tipo. D'altra parte una valutazione accurata richiede molto tempo e denaro, forse incompatibile con la presa di coscienza dell'urgenza e con la dimensione del problema. Procedure di valutazione di accuratezza intermedia sono necessarie al fine di selezionare gli edifici scolastici a maggior rischio, sui quali dovranno essere applicate procedure più accurate, comprendenti valutazioni accurate dei materiali, per ottenere una stima affidabile del rischio. Un'altra importante questione tecnica è legata all'effettiva convenienza di un intervento di adeguamento con le tecnologie correnti. Spesso il costo di adeguamento è dello stesso ordine di grandezza del costo di una nuova costruzione, o poco meno, specialmente quando si richiede un pieno adeguamento (ossia tale da conseguire lo stesso livello di sicurezza nominale di una costruzione nuova). Occorrerebbe considerare attentamente se un livello di sicurezza ridotto possa ritenersi accettabile nell'adeguamento di una scuola esistente, anche tenendo conto della ridotta vita utile residua e della limitatezza dei fondi disponibili. Strategie ottimali dovrebbero considerare la possibilità di accettare livelli ridotti di resistenza sismica, che possono essere conseguiti con impegni economici accettabili, per una limitata vita utile residua e pianificare la completa ricostruzione dell'edificio scolastico quando le situazioni più urgenti sono state risolte. Per quanto riguarda il tipo d'intervento, anche per l'adeguamento sismico gli edifici esistenti le moderne tecnologie, particolarmente quelle basate sulla dissipazione di energia, possono conseguire più elevati livelli di sicurezza. Peraltro, se si verificano alcune favorevoli condizioni geometriche e strutturali dell'edificio, l'isolamento sismico può risultare anche molto conveniente e più facile da realizzare rispetto ad un intervento di rafforzamento tradizionale.

Conclusioni

L'elevato rischio sismico delle scuole esistenti è determinato da numerose e diverse cause, tra cui le seguenti sono state identificate ed esaminate in dettaglio:

- inadeguatezza della zonazione sismica all'epoca della costruzione,
- inadeguatezza della normativa sismica all'epoca della costruzione,
- effetti di amplificazione del terreno
- configurazione architettonica,
- scarsa manutenzione,
- scarsa qualità della progettazione e/o dell'esecuzione
- modifiche strutturali pericolose effettuate successivamente alla costruzione,

Non è possibile generalizzare e definire l'importanza relativa dei fattori detti, potendo giocare ruoli importanti nei diversi casi. Sicuramente la contemporanea presenza di due o più di essi può incrementare drammaticamente il rischio sismico di un edificio scolastico.

La discussione delle possibili azioni volte a mitigare il rischio sismico degli edifici scolastici ha portato ad identificare problemi diversi da affrontare negli edifici nuovi ed in quelli esistenti. Per quanto riguarda gli edifici scolastici nuovi, la corretta applicazione della nuova normativa e della nuova zonazione sismica (Ordinanza 3274 e successive modifiche), insieme con migliori standard di esecuzione e manutenzione, garantiscono il necessario livello di sicurezza. In

particolare, l'adozione delle moderne tecniche di protezione dal sisma, quali l'isolamento sismico, possono garantire livelli di sicurezza ancora superiori con costi aggiuntivi minimi, se non nulli. Molto più complesso è il problema degli edifici esistenti, Prima di tutto è necessario effettuare valutazioni rapide ed affidabili della loro vulnerabilità e del loro rischio sismico, per identificare i meno sicuri. È quindi necessario decidere livello di sicurezza da conseguire, tenuto anche conto del rimanente periodo di utilizzazione, l'esposizione ed altri fattori socio-economici, così da definire anche la convenienza dell'adeguamento rispetto ad una demolizione e ricostruzione. In ogni caso le moderne tecnologie permettono di conseguire più elevati livelli di sicurezza anche nel caso di interventi di adeguamento sismico.

RINGRAZIAMENTI

La presente memoria è parzialmente tratta dal documento presentato al “ad hoc Expert’s Group Meeting on Earthquake Safety in Schools” organizzato dall’OCSE (OECD-Programme on Educational Buildings) a Parigi dal 9 all’11 febbraio 2004, pubblicato negli atti “Keeping Schools Safe in Earthquake” (cap. 3 – , M.Dolce, “Seismic Safety of Schools in Italy”).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- A.Cherubini, L.Corazza, G.Di Pasquale, M.Dolce, A.Martinelli, V.Petrini, 1999. “Censimento di vulnerabilità degli edifici pubblici, strategici e speciali nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia – Cap. 4: Risultati del Progetto”. Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- M.Dolce, G. Zuccaro, 2003. “SAVE-Project - Updated Tools for the Seismic Vulnerability Evaluation of the Italian Real Estate and of Urban Systems – 1st year report”, GNDT, Roma.
- Ordinanza PCM N. 3274, 2003. “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, G.U. 08.05.2003.
- N.Augenti, E.Cosenza, M.Dolce, G.Manfredi, A.Masi, L.Samela, 2004, “Performance of School Buildings during the Molise Earthquake of October 31, 2002”, Earthquake Spectra, Special Issue on the 31.12.2002 Molise earthquake.
- M.Dolce, A.Masi, C.Samela, G.Santarsiero, M.Vona, G.Zuccaro, F.Cacace, F.Papa, 2004. “Esame delle caratteristiche tipologiche e del danneggiamento del patrimonio edilizio di San Giuliano di Puglia”, XI Congress on “Earthquake Engineering in Italy”, Genova 25-29 gennaio 2004.

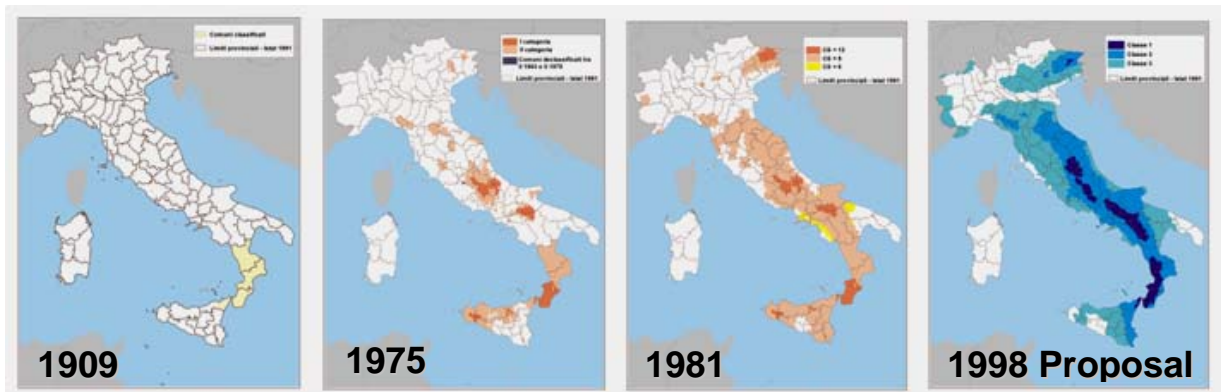


Fig. 1 – History of the seismic classification of the Italian territory (mappe tratte da www.serviziosismico.it).

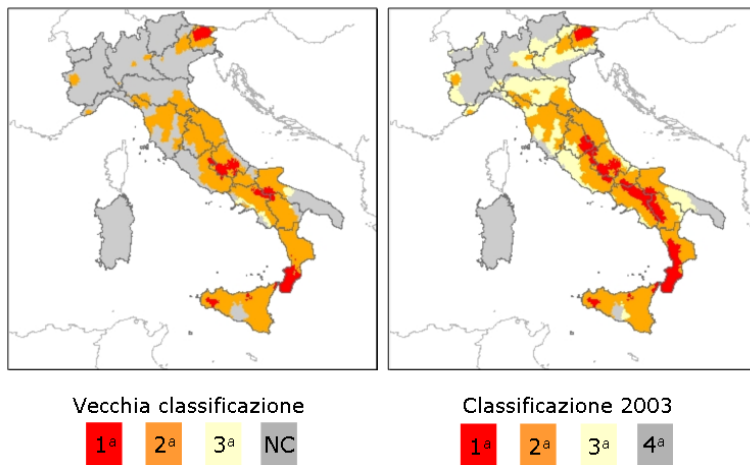


Fig. 2 – Classificazione sismica del territorio italiano: 1981-2003 a sinistra, dopo il 2003 a destra (mappe tratte da www.serviziosismico.it).

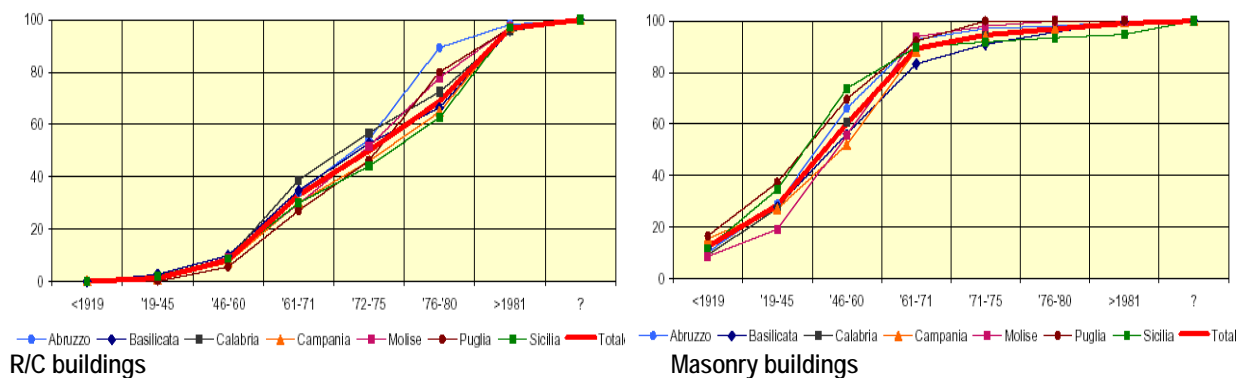
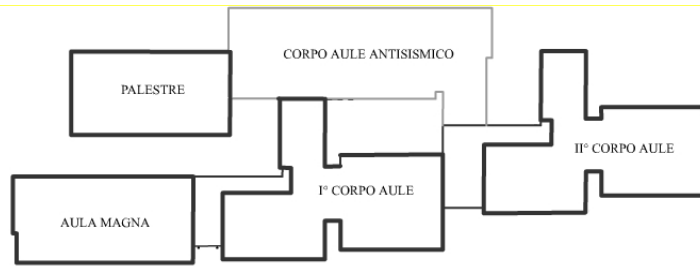
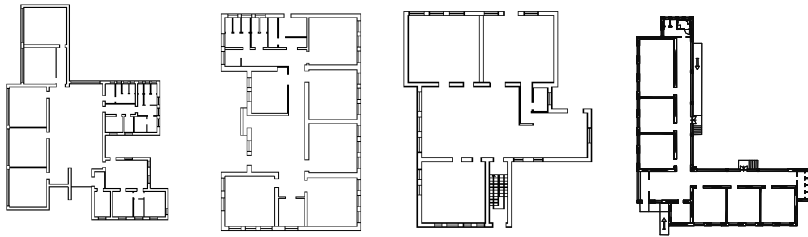


Fig. 3 – Distribuzione cumulativa dell'età degli edifici scolastici del campione LSU (13041 edifici in c.a., 7379 edifici in muratura).



Configurazione in pianta di due scuole superiori



Configurazione in pianta di tre scuole elementari

Fig. 4 – Tipiche configurazioni irregolari di edifici scolastici.



Fig. 5 – Ampie finestre, notevoli altezze di piano, forme irregolari di scuole d'istruzione primaria e secondaria.



Fig. 6 – a) Deterioramento dovuto a scarsa manutenzione b) inadeguatezza dei giunti di separazione.