ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/316511572

VALUTAZIONE SPEDITIVA DELLA VULNERABILITA' SISMICA DEI CENTRI URBANI ITALIANI: CLASSIFICAZIONE TIPOLOGICA STRUTTURALE DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA ED IN C.A

Article · April 2017

DOI: 10.12917/Stru210.09

CITATIONS
2

READS
682

3 authors:

Bruno Calderoni
University of Naples Federico II
68 PUBLICATIONS **202** CITATIONS

SEE PROFILE

Antonio Sandoli
University of Naples Federico II
37 PUBLICATIONS **44** CITATIONS

SEE PROFILE

E.A. Cordasco
University of Naples Federico II
25 PUBLICATIONS **84** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Project Seismic Vulnerability Assessment. Retrofit Strategies and Risk Reduction View project

Project Seismic Response of Timber Structures View project

All content following this page was uploaded by Antonio Sandoli on 27 April 2017.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

VALUTAZIONE SPEDITIVA DELLA VULNERABILITA' SISMICA DEI CENTRI URBANI ITALIANI:

CLASSIFICAZIONE TIPOLOGICA STRUTTURALE DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA ED IN C.A.

Bruno Calderoni
Professore di Tecnica delle Costruzioni, Università degli studi di Napoli Federico II
calderon@unina.it

Antonio Sandoli
Dottore di ricerca, Università degli studi di Napoli Federico II
antonio.sandoli@unina.it

Emilia Angela Cordasco
Dottore di ricerca, Università degli studi di Napoli Federico II
emilia.cordasco@gmail.com

SOMMARIO

La valutazione preventiva del rischio sismico dei centri urbani rappresenta oggi un tema di particolare importanza, soprattutto ai fini della protezione civile, per la valutazione dei possibili scenari di danno che possono manifestarsi a seguito di eventi calamitosi.

Pertanto, con particolare riferimento ai terremoti, la consapevolezza del rischio sismico di un'area, più o meno vasta, costituisce senza dubbio un punto di partenza imprescindibile per la stima preventiva dagli effetti prodotti da eventi sismici significativi, e quindi per il supporto alla gestione ottimale della fase emergenziale post-sisma.

Considerando che il rischio sismico di un'area è definito, come è noto, dai tre fattori - vulnerabilità, pericolosità ed esposizione- che concorrono in maniera differente a determinare gli effetti dell'evento calamitoso, è chiaro che la stima del rischio a livello territoriale non può prescindere dalla valutazione della vulnerabilità sismica delle costruzioni esistenti. Essa però non può essere condotta analizzando ogni singolo edificio come caso a se stante, in quanto sarebbe impossibile e addirittura inutile ai fini di valutazioni su ampia scala.

D'altronde i recenti eventi sismici del centro Italia (2016/2017) hanno portato all'emanazione del D.M. n.58 del 28/02/2017, il cosiddetto decreto sul sisma bonus, che richiede la valutazione preventiva, anche semplificata, della capacità sismica degli edifici esistenti nello stato originario ed eventualmente in quello migliorato.

Pertanto, nella presente memoria viene proposta una classificazione tipologica e strutturale degli edifici esistenti in muratura ed in c.a., finalizzata alla definizione approssimata del parametro "vulnerabilità di insieme" riferito ad ampie porzioni del territorio, ma che può essere utilizzata anche per una prima valutazione riferita alla singola costruzione.

Tale classificazione si basa sulla analisi del comportamento strutturale riscontrato sul campo in occasione eventi sismici (o comunque prevedibile mediante considerazioni teoriche) ed anche sull'ampia sperimentazione numerica svolta dagli autori su alcune delle tipologie individuate. L'analisi dei danni e dei crolli esibiti dagli edifici in c.a. e in muratura a seguito di eventi sismici ha evidenziato quasi sempre una correlazione alquanto stretta tra epoca costruttiva, caratteristiche strutturali e livello dei danni subiti. Ciò ha consentito, quindi, la definizione di una classificazione tipologica-strutturale, il cui discriminante è rappresentato da alcuni elementi specifici della concezione e dell'organizzazione strutturale dell'edificio, che sono strettamente legati all'epoca di costruzione e alle corrispondenti tecniche costruttive.

Nello specifico, la classificazione proposta degli edifici in base al loro comportamento sismico presenta 5 classi per le costruzioni in muratura e 4 classi per quelli in c.a. Per ciascuna di esse viene indicato un range di capacità sismica, espressa in termini di massima accelerazione sopportabile al suolo, utile a definire il livello di vulnerabilità della corrispondente tipologia costruttiva nonché a fornire indicazioni preliminari e di indirizzo qualora si voglia procedere alla valutazione di capacità con riferimento al singolo edificio.

ABSTRACT

QUICK ASSESSMENT OF THE SEISMIC VULNERABILITY OF ITALIAN URBAN CENTERS: TYPOLOGICAL AND STRUCTURAL CLASSIFICATION OF THE EXISTING MASONRY AND R.C. BUILDINGS

The assessment of seismic risk at territorial level represents at now a very important topic, particularly for allowing the authorities to forecast damage scenarios in case of catastrophic events.

Therefore, with particular reference to earthquakes, the knowledge of the seismic risk of a specific area, more or less wide, constitutes an important starting point for the a-priori evaluation of the consequences related to a significant seismic event and for an optimal management of post-seismic phase.

Since the seismic risk of a generic area depends from the three factors – vulnerability, hazard and exposure- that influence in different way the effects of a

catastrophic event, the risk evaluation at territorial level cannot be performed without the evaluation of the seismic vulnerability of existing buildings too. Nevertheless, this evaluation cannot be carried out analysing each construction, because it would be impossible and even useless for a wide scale previsions.

Furthermore, after the recent earthquakes of Central Italy (2016/2017), Italian Government sent out the D.M. n.58 – 28/02/2017 (the so called "Sisma Bonus" code). It requires to give each existing building a Risk Class, which is directly connected to its seismic capacity, and then an a-priori evaluation of seismic vulnerability in both the as-built configuration and the improved one in case of refurbishment.

In this paper, a typological and structural classification of existing masonry and r.c. buildings is proposed, aimed to an approximate definition of the "global vulnerability" of some areas of country. Anyway it can be also adopted for a preliminary evaluation of a single building.

This classification is based on the on field observation of the structural behaviour showed by the constructions after an earthquake (or however predictable with theoretical considerations). Moreover, the results of wide numerical analyses carried out by the authors, with reference to some of the proposed typologies, has been considered too.

In particular, the damage and collapse mechanisms experienced by r.c. and masonry buildings during the past earthquakes highlighted a quite evident correlation among the age of construction, the structural characteristics and the damage levels. Starting from this findings, a typological and structural classification, based on some specific elements of the structural scheme strictly related to both age of construction and corresponding constructional techniques, has then been defined.

More in detail, the proposed classification related to the structural behaviour of the existing buildings presents 5 classes for masonry constructions and 4 classes for r.c. buildings. For each class a range of seismic capacity in terms of maximum PGA is also suggested, in order to allow a simple and useful definition of the vulnerability level of the different constructive typologies.

PAROLE CHIAVE | KEYWORDS

Classificazione strutturale e tipologica, edifici esistenti in muratura, edifici esistenti in c.a., vulnerabilità sismica, classe di rischio, centri urbani italiani

Structural and typological classification, existing masonry buildings, existing r.c. buildings, seismic vulnerability, risk class, Italian urban centres

INTRODUZIONE

Gli ultimi eventi sismici del centro Italia hanno dimostrato in tutta la sua drammaticità il livello elevato di rischio sismico per i piccoli centri urbani ed in particolare per quelli storici. Inoltre, già dal terremoto del Friuli del 1976 si è evidenziata l'importanza fondamentale degli interventi di protezione civile nella fase emergenziale post-sismica. La loro efficacia è risultata strettamente legata alla conoscenza delle zone di intervento dal punto di vista geografico, topografico e logistico ed alle informazioni che via via arrivano dal territorio per definire il quadro reale della situazione effettiva conseguente all'evento sismico. Però ai fini della pianificazione, a livello nazionale e locale, delle risorse da stanziare per la riduzione del rischio sismico e per la definizione dei piani di emergenza risulta sicuramente utile la conoscenza della vulnerabilità edilizia del territorio interessato e sarebbe opportuno, quindi, valutarla almeno a scala territoriale. Tali informazioni risulteranno poi utili anche al momento dell'evento sismico per migliorare l'organizzazione della fase di intervento immediato.

La previsione degli effetti, intesi in senso lato come rischio sismico, è legata ai tre fattori fondamentali, l'esposizione, la vulnerabilità e la pericolosità, che possono essere definiti a diversi livelli di scala, da quella più ridotta (cioè della singola costruzione) fino a quella più ampia a scala territoriale (regionale o addirittura nazionale).

Il fattore vulnerabilità è strettamente connesso alla capacità della singola costruzione (o di un insieme più o meno ampio di costruzioni) di sopportare eventi sismici di una certa intensità; cioè, in termini numerici, corrisponde alla accelerazione alla base (o ad un altro parametro che caratterizza il sisma) che quella costruzione può sopportare in relazione al raggiungimento di un determinato stato limite, in genere quello di salvaguardia della vita (SLV) oppure quello di collasso (SLC).

La valutazione della vulnerabilità sismica della singola costruzione è già di per sé una operazione di notevole complessità, soprattutto perché l'oggetto da analizzare è una struttura esistente la cui epoca di costruzione può essere anche molto antica. Ciò è facilmente riscontrabile anche dall'analisi della attuale normativa e dalla gran mole di letteratura disponibile sull'argomento, che è ancora ampiamente in discussione.

Nondimeno le necessità di definire il rischio sismico richiede necessariamente, almeno in teoria, un passaggio attraverso la valutazione della vulnerabilità della singola costruzione. Però, in tal modo, risulterebbe praticamente impossibile una definizione rapida ed utile ai fini della protezione civile dei livelli di rischio su scala territoriale.

A dire il vero in letteratura sono già presenti numerose e diverse modalità per la valutazione della vulnerabilità sismica anche su ampia scala, che possono sostanzialmente raggrupparsi in due principali categorie [7]. I metodi della prima categoria, con un approccio statistico-osservazionale di tipo semi-empirico [6,9,10,19,20], si basano essenzialmente sui risultati del rilevamento del danno effettuato nei post-terremoto su un gran numero di edifici, attraverso i quali sono stati definiti fattori specifici di vulnerabilità, differenziati per le costruzioni in muratura e quelle in c.a. Da tali fattori di vulnerabilità, in funzione della loro influenza sulla risposta sismica degli edifici osservati, così come definita in letteratura da diversi autori [1,8], si passa a indici globali di vulnerabilità correlati all'intensità sismica mediante ulteriori formulazioni semi-empiriche. Pertanto la valutazione, pur presentandosi sufficientemente semplice, risulta però fortemente influenzata, oltre che dalla sensibilità ingegneristica del rilevatore (che deve

individuare e valutare correttamente i fattori di vulnerabilità per ciascun edificio), anche e soprattutto dalla efficacia delle correlazioni tra tali fattori e gli indici globali di vulnerabilità, a loro volta dipendenti dal numero degli edifici osservati e utilizzati per la definizione delle stesse correlazioni [2]. Inoltre, il concentrarsi prevalentemente su numerosi fattori di vulnerabilità, utilizzati in genere come parametri indipendenti, fa spesso perdere di vista il quadro globale comportamentale dell'edificio, conducendo a volte a giudizi non adeguati. In ogni caso la valutazione non sempre risulta speditiva perché richiede comunque un'analisi sul campo sufficientemente dettagliata della singola costruzione [21].

I metodi della seconda categoria si basano su un approccio di tipo meccanico, cioè sulla valutazione diretta della capacità sismica del singolo edificio o di gruppi di edifici [3,5]. Ovviamente, pur essendo necessariamente più affidabili, richiedono però la conoscenza approfondita della costruzione e un tempo relativamente lungo per svolgere la corrispondente valutazione. Pertanto, a parte le difficoltà intrinseche connesse allo svolgimento di una corretta analisi sismica di edifici esistenti (come detto, non ancora del tutto risolte), essi non sono facilmente applicabili nemmeno a valutazioni su scala urbana, sia dal punto di vista tecnico che di quello temporale ed economico.

In realtà, se è vero che ogni costruzione costituisce un caso a se stante, è altrettanto vero che l'analisi dei danni e dei crolli avvenuti durante i terremoti di cui si hanno informazioni abbastanza veritiere e precise (ad esempio dal Friuli in poi) ha mostrato una sufficiente uniformità di comportamento (positivo o negativo) delle costruzioni che presentano alcune caratteristiche strutturali comuni, ovviamente significative in relazione alla loro risposta sismica, non sempre corrispondente a quello che risulterebbe sulla base dell'individuazione dei fattori specifici di vulnerabilità e dei corrispondenti indici globali che ne derivano. Pertanto, gli autori ritengono che le costruzioni esistenti, sia in muratura che in c.a., possano essere utilmente ed efficacemente raggruppate in un numero sufficientemente ridotto di tipologie strutturali, l'individuazione delle quali appare quindi indispensabile per procedere a valutazioni approssimate, ma allo stesso tempo abbastanza affidabili, di vulnerabilità di insieme delle costruzioni, riferita cioè ad ampie porzioni del territorio.

D'altronde i recenti eventi sismici del centro Italia (2016/2017), che hanno prodotto danni rilevanti sul patrimonio edilizio storico, hanno evidenziato la necessità di definire preventivamente la capacità sismica degli edifici in relazione ai danni attesi, per consentire un'attività di prevenzione diffusa sugli edifici esistenti ai fini della riduzione delle perdite economiche e di vite umane per i terremoti futuri, come indicato nel recentissimo D.M. n.58 del 28/02/2017, il cosiddetto decreto sul Sisma Bonus. In esso, per ottenere il bonus fiscale connesso a miglioramenti strutturali, è richiesta la definizione della Classe di Rischio del singolo edificio, sia prima che dopo gli interventi, e, quindi, la valutazione della vulnerabilità sismica, che può essere effettuata anche con metodi semplificati.

In questa memoria si propone, allora, una classificazione tipologica strutturale, separatamente per gli edifici in muratura e per quelli in c.a., basata sul comportamento sismico riscontrato sul campo o comunque prevedibile mediante considerazioni teoriche, anche sulla base dell'ampia sperimentazione numerica svolta dagli autori stessi, come da altri, su alcune delle tipologie individuate.

Tale classificazione, può essere quindi utilmente adottata per valutazioni di vulnerabilità su ampia scala, ma può essere utilizzata anche per una prima valutazione semplificata riferita alla singola costruzione, fornendo in ogni caso per essa indicazioni preliminari e di indirizzo, comunque utili come base per valutarne in modo più preciso la capacità sismica.

GLI EDIFICI IN MURATURA

Le costruzioni in muratura sono quelle che, in genere, subiscono i danni più gravi durante i terremoti ed alle quali sono ascrivibili il maggior numero di crolli globali o parziali, costituendo nell'immaginario collettivo la tipologia di edifici più pericolosa in caso di sisma.

In realtà, il termine generico di "edificio in muratura" rappresenta un insieme molto vasto di costruzioni di epoche diverse, che possono presentare caratteristiche costruttive anche molto diverse e, conseguentemente, comportamenti sismici molto differenti.

E' possibile, però, individuare in alcuni elementi specifici della concezione e dell'organizzazione strutturale dell'edificio in muratura il discriminante del comportamento sismico più o meno efficiente della costruzione, ovvero della sua vulnerabilità.

Esiste infatti una correlazione abbastanza stretta tra l'epoca della costruzione ed il comportamento strutturale, e ciò quasi indipendentemente dalle altre caratteristiche costruttive e dallo stato di conservazione, che contano, più che altro, come condizioni migliorative o peggiorative della situazione comportamentale di base [15].

In particolare, l'elemento fondamentale in relazione alla risposta sismica è costituito dal livello di connessione tra le diverse pareti murarie e tra le pareti stesse e gli impalcati. Pertanto, anche con riferimento alla classificazione di Pagano [24,26] che li differenzia in due classi (la I e la II), è possibile definire una prima tipologia di edifici in muratura, qui denominata "MUR-1 EDIFICI ANTICHI", che è caratterizzata da collegamenti tra le varie parti non sufficientemente affidabili (o comunque facilmente danneggiabili) tali da portare, in caso di sisma, alla separazione tra loro delle pareti murarie e/o dei singoli maschi murari, che risultano quindi fortemente esposti al pericolo del ribaltamento al di fuori del piano (figura 1a,b,c). Ed infatti, in caso di terremoti di significativa intensità, tali edifici sono quelli che più facilmente manifestano forti danneggiamenti o, molto spesso, crolli locali e o globali. Analisi numeriche di dettaglio svolte da molti autori [1,8] hanno mostrato che edifici di questo tipo hanno capacità sismica molto bassa dell'ordine di qualche unità % di g, rappresentando la tipologia di edifici in muratura di maggiore pericolosità. Le altre caratteristiche, quali ad esempio il tipo e la qualità della muratura o la tipologia di impalcati (piani o a volte), non modificano sostanzialmente il comportamento di base, ma possono unicamente ridurre o incrementare (in un range non molto ampio) l'accelerazione sopportabile.

Le caratteristiche di dettaglio di tale tipologia di base, anche con riferimento ai vari componenti (pareti ed impalcati), nonché la collocazione temporale degli edifici corrispondenti, sono riassunte nella **Scheda 1**.

1a. MUR-1 - Edificio in muratura "antico" della I classe (le volte interne sono crollate) – Poggio Picenze (AQ).

1b. MUR-1 - Edificio in muratura "antico" della II classe – Napoli (a sinistra).
1c. MUR-1 - Edificio in muratura "antico" della II classe – Amatrice (RI) (a destra).

Se gli edifici di tale prima tipologia sono stati sottoposti (in periodi più o meno recenti) ad interventi di rinforzo, consistenti principalmente in efficaci collegamenti diffusi (di tipo antico o moderno), viene garantito, anche se a volte in maniera non del tutto efficace, un comportamento scatolare della costruzione, con la sostanziale eliminazione, o quanto meno una sensibile riduzione, della possibilità di attivazione dei meccanismi fuori piano. Ciò porta ad un incremento significativo delle prestazioni sismiche della costruzione, che saranno correlate quasi sempre al molto più efficiente comportamento delle pareti nel piano. E' possibile definire, quindi, una seconda tipologia di edifici in muratura, qui denominata "MUR-2 EDIFICI ANTICHI MIGLIORATI" (figura 2), la cui capacità sismica si incrementa in genere fino anche a valori dell'ordine di 1/10 di g, come indicato anche in [27] e in [11,14,18].
Le caratteristiche di dettaglio di tale seconda tipologia sono riportate nella **Scheda 2**.

2. MUR-2 - Edifici in muratura "antichi migliorati" – L'Aquila.

La terza tipologia di base, denominata "MUR-3 EDIFICI MODERNI", raggruppa gli edifici in muratura realizzati nel XX secolo nel rispetto nelle norme susseguitisi dal 1909 in poi per le zone sismiche e delle norme del 1937 (R.D. 22/11/1937 n.2105) anche per le zone non sismiche (figura 3). Tale tipologia corrisponde in pratica alla terza classe di edifici nella classificazione di Pagano ed è caratterizzata da un ottimo comportamento scatolare assicurato dalla intima connessione tra le pareti verticali murarie e gli impalcati, che quindi svolgono il compito di catene bidimensionali diffuse, impedendo di fatto l'attivazione dei meccanismi fuori dal piano. La vulnerabilità sismica di questi edifici risulta quindi molto ridotta, in quanto correlata sicuramente al comportamento delle pareti nel proprio piano, favorito anche da una significativa rigidezza nel piano orizzontale degli impalcati [15,16]. In genere le analisi sismiche svolte su edifici di questo tipo (con numero di piani variabile in genere tra 3 e 5) hanno evidenziato accelerazioni sopportabili significative, a volte anche più alte del 15% di g.
Si rinvia comunque alla **Scheda 3** per la descrizione di dettaglio delle caratteristiche di questa terza tipologia di base.

3. MUR-3 – Edificio in muratura "moderno" – L'Aquila

Si possono individuare altre due tipologie, che possono definirsi ibride, qui definite come "MUR-4 EDIFICI SEMI-MODERNI" e "MUR-5 EDIFICI MODERNI NON A NORMA".
La prima raggruppa edifici, realizzati in zona sismica (ma a volte anche in zona non sismica, soprattutto per gli edifici pubblici) prima della emanazione delle norme del 1937, che presentano collegamenti continui delle pareti murarie a diverse quote (con cordoli in c.a. o cerchiature in acciaio) però non disposti al livello degli impalcati e quindi non direttamente attaccati ad essi, come nella costruzione di figura 4 dove al di sopra delle aperture sono chiaramente visibili cordoli continui in c.a. che svolgono anche la funzione di piattabande. Tale tipologia è simile alla MUR-2, anche se, essendo più moderna nella tecnologia realizzativa, presentando collegamenti continui su tutte le murature e non catene puntuali, è sicuramente più efficiente anche in relazione ad altri aspetti di dettaglio.
La seconda, invece, raggruppa gli edifici che, anche se costruiti dopo il 1937, non presentano i prescritti collegamenti di piano tra le pareti murarie e gli impalcati e quindi, ad esempio, sono privi cordoli di piano pur avendo solai in acciaio o in c.a., in genere di tipo prefabbricato, per cui non rispettano le norme in vigore all'epoca della costruzione (figura 5).
Le corrispondenti schede descrittive di dettaglio sono riportate nella **Scheda 4** e **Scheda 5**.

4. MUR-4 – Edificio in muratura "semi-moderno" – Napoli.

5. MUR-5 – Edificio in muratura "moderno non a norma" – Mirandola (MO).

Ai fini di una prima valutazione su larga scala, per quanto detto, si possono prendere come riferimento per gli edifici in muratura i seguenti valori di capacità sismica (PGA, per suolo tipo A):

MUR 1 e MUR 5: PGA <= 0.05g

MUR 2 e MUR 4: 0.05g < PGA <= 0.10g

MUR 3: 0.10g < PGA <= 0.15g

Tali valori possono essere incrementati (anche fino al 50%) per edifici di altezza limitata (fino a 2 piani) e ridotti (fino al 50%) per quelli di altezza maggiore (superiore ai 4 piani).

Scheda 1: MUR-1 EDIFICI ANTICHI		
Definizione	Edifici con pareti verticali integralmente in muratura ed impalcati a volta o piani (travi in legno o in ferro) non collegati in modo efficace alle pareti e privi di incatenamenti diffusi (edifici della prima o seconda classe secondo la classificazione di Pagano del 1968).	
Epoca di costruzione	- Edifici antecedenti al 1937 nelle zone non simiche; - Edifici antecedenti all'anno di emanazione delle norme tecniche sismiche specifiche per quella zona per le zone che hanno subito terremoti dal 1908 fino al 1937 e che sono state di conseguenza considerate come zone sismiche prima del 1937.	
Descrizione dei componenti	**Pareti murarie:** realizzate con la muratura tipica della zona geografica corrispondente	-Nelle zone appenniniche o caratterizzate dalla presenza di rocce dure: muratura di pietrame irregolare o semi-regolare, con malta di calce; -Nelle zone appenniniche o caratterizzate dalla presenza di rocce tenere (tufo, arenarie, calcarenite): muratura di pietra tenera prevalentemente regolare, con malta di calce (a volte pozzolanica); -Nelle zone di pianura caratterizzate dalla presenza di argilla (Italia centro-settentrionale): muratura regolare in mattoni pieni e malta di calce.
	Impalcati: deformabili nel piano orizzontale	-Volte di qualsiasi tipologia (a doppia o semplice curvatura); -Solai con travi in legno privi di irrigidimento nel piano orizzontale e privi di specifici collegamenti con le murature; -Solai con travi in ferro privi di irrigidimento nel piano orizzontale e privi di specifici collegamenti con le murature.

Scheda 2: MUR 2 - EDIFICI "ANTICHI MIGLIORATI"		
Definizione	Edifici con pareti verticali integralmente in muratura ed impalcati a volte o piani (travi in legno o in ferro) non collegati in modo efficace alle pareti ma dotati di incatenamenti diffusi, interessanti la maggior parte delle preti murarie a tutti i livelli.	
Epoca di costruzione	-Edifici antecedenti al 1937 nelle zone non sismiche che sono stati rinforzati con catene a seguito di dissesti o eventi sismici del passato; -Edifici antecedenti all'anno di emanazione delle norme tecniche sismiche specifiche per quella zona per le zone che hanno subito terremoti dal 1908 fino al 1937 e che sono state di conseguenza considerate come zone sismiche prima del 1937, che sono stati rinforzati con catene a seguito di dissesti o eventi sismici del passato.	
Descrizione dei componenti	**Pareti murarie:** realizzate con la muratura tipica della zona geografica corrispondente	-Nelle zone appenniniche o caratterizzate dalla presenza di rocce dure: muratura di pietrame irregolare o semi-regolare, con malta di calce; -Nelle zone appenniniche o caratterizzate dalla presenza di rocce tenere (tufo, arenarie, calcarenite): muratura di pietra tenera prevalentemente regolare, con malta di calce (a volte pozzolanica); -Nelle zone di pianura caratterizzate dalla presenza di argilla (Italia centro-settentrionale): muratura regolare in mattoni pieni e malta di calce.
	Impalcati: deformabili nel piano orizzontale	-Volte di qualsiasi tipologia (a doppia o a semplice curvatura); -Solai con travi in legno privi di specifici collegamenti con le murature; -Solai con travi in ferro privi di specifici collegamenti con le murature.
	Catene:	-Tondi o quadrotti o piatti di ferro (o in acciaio se più recenti) ancorati solo alle estremità con capochiavi di foggia diversa in relazione all'epoca di realizzazione dell'intervento di rinforzo (catene scorrevoli); -Travi in legno o in ferro dei solai ancorate in modo opportuno alle murature sulle quali poggiano con dispositivi di diverse tipologie; -Piatti o profili di acciaio chiodati con continuità alla muratura (per gli interventi più recenti) (catene aderenti).

Scheda 3: MUR-3 EDIFICI "MODERNI"		
Definizione	Edifici con pareti verticali in muratura interrotte ad ogni piano da impalcati dotati di cordoli armati (disposti su tutte le pareti) (edifici della terza classe secondo la classificazione di Pagano del 1968)	
Epoca di costruzione	-Edifici successivi al 1937 nelle zone non sismiche; -Edifici anche antecedenti al 1937 ma successivi all'anno di emanazione delle corrispondenti norme tecniche specifiche per quella zona per le zone che hanno subito terremoti dal 1908 fino al 1937 e che sono state di conseguenza considerate come zone sismiche prima del 1937.	
Descrizione dei componenti	**Pareti murarie:** realizzate con la muratura tipica della zona geografica corrispondente	-Nelle zone appenniniche o caratterizzate dalla presenza di rocce dure: muratura di pietrame irregolare o semiregolare listata, con malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento; -Nelle zone caratterizzate dalla presenza di rocce tenere (tufo, arenarie, calcarenite etc.): muratura di pietra tenera prevalentemente regolare, con malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento; -Nelle zone di pianura caratterizzata dalla presenza di argilla (Italia centro-settentrionale): muratura regolare in mattoni pieni e malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento; -Ovunque (in genere nelle realizzazioni più recenti): muratura regolare di blocchi in laterizio o in calcestruzzo più o meno forati (a volte troppo) con malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento.
	Impalcati: rigidi o semirigidi nel piano orizzontale	-Solai in calcestruzzo armato alleggeriti con laterizi, gettati in opera o semiprefabbricati (tipo SAP o similari), dotati o meno di soletta superiore armata; -Solai con travi in acciaio inserite in cordoli perimetrali disposti su tutte le pareti murarie e ben collegate ad essi, dotati o meno di soletta superiore armata.

Scheda 4: MUR-4 EDIFICI "SEMI-MODERNI"		
Definizione	Edifici con pareti verticali in muratura con impalcati piani più o meno collegati alle pareti murarie e dotati di cordoli armati (disposti su tutte le pareti) a livelli differenti da quelli dei solai.	
Epoca di costruzione	-Edifici antecedenti al 1937 ma successivi all'anno di emanazione delle corrispondenti norme tecniche specifiche per quella zona per le zone che hanno subito terremoti dal 1908 fino al 1937 e che sono state di conseguenza considerate come zone sismiche prima del 1937; -Edifici anche antecedenti al 1937 nelle zone non sismiche ma che sono stati realizzati comunque seguendo le norme tecniche specifiche emanate per le zone che hanno subito terremoti dal 1908 fino al 1937, non obbligatorie per le zone non sismiche (in genere edifici pubblici).	
Descrizione dei componenti	**Pareti murarie:** realizzate con la muratura tipica della zona geografica corrispondente	-Nelle zone appenniniche o caratterizzate dalla presenza di rocce dure: muratura di pietrame irregolare o semiregolare listata, con malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento; -Nelle zone caratterizzate dalla presenza di rocce tenere (tufo, arenarie, calcarenite etc.): muratura di pietra tenera prevalentemente regolare, con malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento; -Nelle zone di pianura caratterizzata dalla presenza di argilla (Italia centro-settentrionale): muratura regolare in mattoni pieni e malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento; -Ovunque (in genere nelle realizzazioni più recenti): muratura regolare di blocchi in laterizio o in calcestruzzo più o meno forati (a volte troppo) con malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento.

segue >

> continua

	Impalcati: rigidi o semirigidi nel piano orizzontale	-Solai con travi in acciaio collegate alle murature non con continuità, dotati o meno di soletta superiore; -Solai in calcestruzzo alleggeriti con laterizi, in genere semiprefabbricati (tipo SAP o similari) collegata alle murature non continuità, dotati o meno di soletta superiore; -Cordoli disposti a quota differente da quella dei solai.

Scheda 5: MUR-5 EDIFICI "MODERNI NON RISPETTOSI DELLE NORME"		
Definizione	Edifici con pareti verticali in muratura ed impalcati piani non collegati in modo efficace alle pareti murarie e privi di cordoli di piano	
Epoca di costruzione	-Edifici successivi al 1937 nelle zone non sismiche; -Edifici anche antecedenti al 1937 ma successivi all'anno di emanazione delle corrispondenti norme tecniche specifiche per quella zona nelle zone che hanno subito terremoti dal 1908 fino al 1937 e che sono state di conseguenza considerate come zone sismiche prima del 1937.	
Descrizione dei componenti	**Pareti murarie:** realizzate con la muratura tipica della zona geografica corrispondente	-Nelle zone appenniniche o caratterizzate dalla presenza di rocce dure: muratura di pietrame irregolare o semiregolare listata o meno, con malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento; -Nelle zone caratterizzate dalla presenza di rocce tenere (tufo, arenarie, calcarenite etc.): muratura di pietra tenera prevalentemente regolare, con malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento; -Nelle zone di pianura caratterizzata dalla presenza di argilla (Italia centro-settentrionale): muratura regolare in mattoni pieni e malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento; -Ovunque: muratura regolare di blocchi in laterizio o in calcestruzzo più o meno forati (a volte troppo) con malta bastarda (di calce e cemento) o malta di cemento.
	Impalcati: deformabili o semirigidi nel piano orizzontale	-Solai in calcestruzzo alleggeriti con laterizi, in genere semiprefabbricati (tipo SAP o similari) e privi di soletta superiore armata, con travetti semplicemente poggiati sulle pareti murarie senza cordoli di piano; -Solai con travi in acciaio e laterizi, privi di soletta superiore armata, con le travi semplicemente poggiate sulle pareti murarie senza cordoli di piano.

GLI EDIFICI IN CEMENTO ARMATO

Le costruzioni in cemento armato sono apparse nel panorama edilizio nazionale nei primi anni del XX secolo. Esse venivano realizzate secondo le indicazioni delle prime norme francesi ed italiane, che erano basate, ovviamente, sull'analisi elastica della struttura e sul metodo delle tensioni ammissibili. E' interessante, però, evidenziare come la costruzione in c.a., almeno nel campo degli edifici "normali" per civili abitazioni (che rappresenta ovviamente la tipologia di maggiore interesse ai fini di valutazioni di vulnerabilità su ampia scala), nasca come evoluzione architettonica-tecnologica della costruzione in muratura: il nuovo materiale, presentando una resistenza a compressione (utilizzabile in esercizio) di circa 10 volte maggiore rispetto alla muratura, consentiva una significativa riduzione di dimensioni dei setti murari. Ad esempio, un setto murario di 3 m di lunghezza poteva essere sostituito, a parità di spessore e di capacità portante (per i carichi verticali), da un elemento in c.a. di soli 30 cm. Questa possibilità è stata sfruttata soprattutto per i maschi murari interni (quelli più vincolanti rispetto ad una più libera e razionale distribuzione degli ambienti), ottenendo quindi l'edificio misto con pareti esterne in muratura e pilastri in c.a. interni.

In effetti, l'esigenza di ridurre l'estensione dei muri esterni non era altrettanto importante da un punto di vista distributivo, anche per la loro indispensabile funzione di chiusura e protezione della costruzione, nonché per la necessità di irrigidimento della struttura rispetto alle azioni orizzontali. Tale funzione strutturale delle pareti perimetrali emerge in maniera più significativa proprio a seguito della sostanziale eliminazione delle pareti interne. In ogni caso l'evoluzione tecnologica e la semplicità costruttiva spingevano verso la realizzazione della struttura integralmente in c.a.

Quindi, dall'edificio misto (con le pareti esterne integralmente in muratura) si è passati ad una struttura a telaio anche per il perimetro ma con pareti di chiusura di muratura massiccia della stessa tipologia utilizzata per la muratura portante [26]. Per una maggiore precisione, la trasformazione è stata più graduale, passando inizialmente per pareti esterne realizzate ancora in muratura portante ma dotate di pilastri e travi gettati direttamente nella o sulla muratura (realizzata prima – la cosiddetta "muratura confinata") per arrivare al telaio classico (realizzato prima) con tamponature rigide (di muratura) ben incassate nella struttura in c.a. e sicuramente collaboranti con essa in relazione alle forze orizzontali. Tutto ciò almeno fino agli anni a ridosso della seconda guerra mondiale. Ovviamente in quell'epoca la sensibilità sismica, come la intendiamo oggi, era molto meno sviluppata, ma gli edifici realizzati in questo modo con pareti esterne molto robuste e rigide, così come alcune pareti interne (ad esempio quelle della scala), pur se di altezza maggiore (anche fino a 8-10 piani) rispetto ai precedenti edifici in muratura, risultavano sufficientemente resistenti anche in relazione alle azioni orizzontali.

Lo scoppio della guerra in Europa (1939) coincide peraltro con l'emanazione della seconda significativa norma italiana sul c.a. (R.D. 16/11/1939 n.2229); ma tale norma sarà applicata soprattutto dopo la fine della guerra ed in pratica, come si dirà meglio in seguito, fino agli inizi degli anni '70. Pertanto si può sicuramente definire come prima tipologia di base per le costruzioni in c.a. quella degli "EDIFICI COSTRUITI PRIMA DEL 1939" ovvero prima della II guerra mondiale, qui indicata come "CA-1" (figura 6a,b,c). In pratica questi edifici presentano una struttura concepita per sostenere i soli carichi verticali, costituita da telai perimetrali ed interni disposti essenzialmente in un sola direzione, ovvero lungo gli allineamenti definiti dalle orditure dei solai. Le travi sono comunemente emergenti, mentre le

tamponature sono, in pratica sempre, di tipo pesante, ben incassate nei telai di bordo, dando luogo a un edificio significativamente rigido rispetto alla sua altezza.
Ulteriori caratteristiche di dettaglio di tale tipologia di base, anche con riferimento agli altri elementi strutturali, sono riportate nella **Scheda 6**. Una criticità di questa tipologia è rappresentata dai nodi che, sotto l'azione di terremoti significativi, sono fortemente sollecitati dall'azione concentrata delle pesanti tamponature (che lavorano come diagonali compresse). Pertanto, pur presentando una buona resistenza al sisma, proprio dovuta alla presenza delle pareti rigide incassate nei telai, a volte possono subire danni gravi fino al crollo a causa della rottura di alcuni nodi d'angolo e perimetrali esterni (figura 6.c).
Dopo la guerra, l'esigenza di ricostruire ed ampliare le città con rapidità ha portato ad un intensivo sviluppo delle costruzioni in c.a., con il contestuale abbandono delle costruzioni in muratura. La tecnologia del c.a. consentiva, infatti, la realizzazione di edifici a molti più piani (fino a 20 per quelli più alti) in tempi relativamente ridotti. In pratica in questo periodo sono scomparsi gli edifici misti (con pareti perimetrali integralmente in muratura o in muratura intelaiata), lasciando il passo all'edificio a struttura integralmente in c.a - il tipico edificio di 10-12 piani a struttura intelaiata degli anni '50-'60.
Da un punto di vista strutturale tale tipo di edificio resta concepito per sostenere i soli carichi verticali. Pertanto la sua impostazione progettuale è, almeno in teoria, molto simile a quella degli edifici costruiti prima della guerra, ai quali quindi si rimanda.
Però, la richiesta di maggiore flessibilità architettonica porta a un uso via via maggiore delle travi a spessore nei telai interni che sostengono i solai. Il miglioramento delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo (almeno teorico) consente l'incremento del numero di piani piuttosto che la riduzione delle sezioni trasversali dei pilastri, conducendo comunque a edifici globalmente più deformabili rispetto a quelli del passato [25].

6a. CA-1 – Edificio in c.a. costruito prima del 1939. Napoli.

6b. CA-1 – Edificio in c.a. costruito prima del 1939. L'Aquila.

6c. CA-1 – Edificio in c.a. costruito prima del 1939. Amatrice (RI**). 6d.** Rottura del nodo d'angolo per azione concentrata della tamponatura.

In relazione alla deformabilità è importante osservare che, fino alla fine degli anni '50, ancora le tamponature sono di tipo pesante ben incassate nelle maglie dei telai. Invece, dalla metà degli anni '60 diviene comune l'utilizzo di pareti perimetrali di tipo leggero, in genere realizzate con laterizi forati a doppia fodera con camera d'aria interposta, la cui incassatura nei telai è sicuramente meno curata, anche in considerazione del fatto che spesso la fodera esterna risulta aggettante rispetto al filo esterno delle travi e dei pilastri.

Tali edifici si possono raggruppare in una nuova tipologia, definita "CA-2", quella degli "EDIFICI COSTRUITI TRA IL 1939 ED IL 1970" (figura 7), le cui caratteristiche sono riportate nella **Scheda 7**.

In effetti, il 1971 rappresenta un anno di svolta, in quanto viene emanata la Legge n.1086 del 5/11/1971. Questa legge riorganizza dal punto di vista tecnico-

amministrativo le costruzioni in c.a., in c.a.p. e in acciaio. In particolare, stabiliva che, da quel momento, tutti i progetti strutturali dovessero essere depositati presso gli Uffici del Genio Civile.
Ciò significa che, almeno in teoria, oggi è possibile rintracciare negli archivi pubblici il progetto strutturale di qualsiasi opera in c.a. realizzata dopo il 1971, potendo acquisire informazioni dettagliate sulla costruzione, utili ai fini sia della valutazione della vulnerabilità che, ad esempio, per un progetto di miglioramento o adeguamento sismico.
Da un punto di vista dell'impostazione strutturale, gli edifici costruiti dopo l'emanazione della L.1086 non sono molto dissimili da quelli precedenti al 1971, nel caso in cui siano stati concepiti per sostenere essenzialmente i soli carichi verticali. Si diffonde però maggiormente l'uso di travi a spessore, le tamponature sono, praticamente sempre, di tipo leggero a doppia fodera e aumentano le irregolarità, sia in pianta che in elevazione, in relazione allo sviluppo di un architettura più "libera" rispetto agli schemi tradizionali.
Differenze rilevanti, tali da poter influenzare anche la capacità sismica dell'edificio, si ritrovano, invece, nei materiali. In particolare, le barre d'acciaio sono ormai quasi esclusivamente ad aderenza migliorata, con una maggiore resistenza a trazione rispetto al passato, e il calcestruzzo, con l'affermarsi delle centrali di betonaggio esterne al cantiere e l'intensificarsi dei controlli, dovrebbe presentare migliori caratteristiche meccaniche.

7. CA-2 – Edifici costruiti tra il 1939 ed il 1970 – Edifici degli anni '60, Napoli.

E' utile allora definire una specifica diversa tipologia, la "CA-3", degli "EDIFICI COSTRUITI TRA IL 1971 E L'ENTRATA IN VIGORE DELLE NORME SISMICHE" (figura 8), le cui caratteristiche peculiari sono riportate più in dettaglio nella **Scheda 8**.
In relazione alla capacità sismica, le prime tre tipologie si possono considerare abbastanza simili tra loro. Più in dettaglio, gli edifici più "vecchi" risultano piuttosto rigidi (a causa sia dei telai con travi emergenti che, soprattutto, per la presenza delle tamponature pesanti nelle maglie strutturali). Viceversa, il maggior cimento sismico, connesso alla significativa rigidezza globale, è compensato da un numero di piani ridotto.

Gli edifici più "moderni", dotati di un numero di piani maggiore, risultano più deformabili (pochi telai rigidi con travi emergenti e pilastri di ridotte dimensioni) e, per questo, soggetti ad azioni sismiche relativamente ridotte. La loro capacità di sopportare i terremoti è però condizionata fortemente dalla scarsa resistenza dei nodi e dalla presenza di pilastri tozzi, soggetti a rotture fragili a taglio. Spesso però il contributo non trascurabile delle tamponature aumenta la resistenza globale della struttura. In definitiva, a meno di difetti specifici non rinvenibili con facilità anche con indagini accurate, la capacità sismica delle prime tre categorie di edifici in c.a. si può considerare sostanzialmente analoga, valutabile nel range 0.10g - 0.15g [12,13,23].

8. CA-3 – Edificio costruito tra il 1971 e l'entrata in vigore delle norme sismiche – Paternopoli (AV)

Diverse considerazioni si possono fare, invece, per gli edifici costruiti dopo l'entrata in vigore delle norme sismiche per la specifica zona geografica.

Tali edifici presentano strutture a telai abbastanza rigidi disposte in entrambe le direzioni principali della pianta e, in genere, una discreta regolarità strutturale sia in pianta che in elevazione. In realtà le irregolarità sono aumentate negli anni '80 e '90, soprattutto per gli edifici ad uso pubblico, in linea con tendenze architettoniche più moderne.

Comunque gli edifici costruiti in zona sismica negli anni '60 e '70 non sempre hanno dato buona prova di sé, almeno agli occhi inesperti dell'opinione pubblica. Ad esempio, nel terremoto dell'Irpinia del 1980 alcuni edifici in c.a., in numero percentualmente poco significativo (inferiore a qualche %), ma non trascurabile in valore assoluto, soprattutto in relazione al numero delle vittime, sono crollati a S. Angelo dei Lombardi ed in alcuni paesi limitrofi, pur progettati come "sismici". All'incirca la stessa bassa percentuale di edifici in c.a. (ma purtroppo causando un numero di vittime percentualmente elevato) è collassata in conseguenza al terremoto de L'Aquila nel 2009. Ciò comunque non deve stupire, considerando che

la sensibilità sismica dei progettisti dell'epoca non era ancora del tutto sviluppata e che i difetti costruttivi (purtroppo quasi inevitabili in tale tipologia strutturale) possono influenzare pesantemente il comportamento strutturale.

In ogni caso, come già detto, il numero degli edifici crollati non è stato percentualmente elevato, tanto da poterlo considerare quasi fisiologico in relazione ai metodi probabilistici sui quali su basa la valutazione della sicurezza. Ovviamente tale percentuale può e deve ridursi ulteriormente per gli edifici di nuova realizzazione, come si spera avvenga anche in relazione all'applicazione delle prescrizioni più stringenti delle normative recenti.

Tornando agli edifici esistenti (cioè realizzati fino alla fine del XX secolo, ovvero prima dell'entrata in vigore dell'Ordinanza 3274/3431 e poi delle NTC'08) e ragionando su ampia scala, la loro capacità sismica può, per quanto detto, considerarsi abbastanza verosimilmente pari a quella di progetto, anche se i danni attesi sono sempre di notevole entità.

Pertanto si può definire come ulteriore categoria di edifici in c.a. la "CA-4" degli "EDIFICI COSTRUITI DOPO L'ENTRATA IN VIGORE DELLE NORME SISMICHE" (Figura 9a, b), le cui specifiche caratteristiche sono riportate nella **Scheda 9**.

Per tale tipologia la capacità sismica si può ritenere effettivamente corrispondente al livello di accelerazione sismica utilizzata nel progetto. Queste costruzioni sono state tutte progettate utilizzando le norme di vecchia generazione, nelle quali le azioni orizzontali di calcolo venivano convenzionalmente valutate con coefficienti di 0.04, 0.07 e 0.10 applicati alle masse, a seconda della zona sismica vigente all'epoca di costruzione. Da tali coefficienti, procedendo a ritroso secondo i principi dell'ingegneria sismica, si ottengono i valori di capacità corrispondenti a PGA (valutata su suola A) rispettivamente di circa 0.15g, 0.25g e 0.35g.

Però tenendo conto degli errori di progettazione e di realizzazione nonché dei dettagli costruttivi spesso carenti, purtroppo spesso riscontrati per gli edifici di quell'epoca quando analizzati in dettaglio, appare opportuno ridurre i valori prima indicati con un coefficiente variabile tra il 20% e il 30%, ottenendo valori di capacità sismica di riferimento per valutazioni su ampia scala pari rispettivamente a 0.11g, 0.19g e di 0.25g.

E' quasi superfluo ricordare che tali indicazioni non sono valide per gli edifici più recenti (successivi al 1 luglio 2009), che sono stati progettati rispettando le nuove norme sismiche.

9a. CA-4 - Edificio in costruzione, progettato dopo l'entrata in vigore delle norme sismiche. San Gregorio Magno (SA)

9b. CA-4 - Edificio progettato dopo l'entrata in vigore delle norme sismiche. Amatrice (RI).

Scheda 6: CA-1 EDIFICI COSTRUTITI PRIMA DEL 1939	
Definizione	Struttura concepita per sostenere i soli carichi verticali con telai perimetrali e interni in una sola direzione dotati di travi emergenti (raramente a spessore). Le tamponature sono di tipo pesante.
Descrizione dei componenti	**solai:** - gettati in opera o semiprefabbricati (tipo SAP o similari) quasi sempre senza soletta superiore.
	pilastri: - di dimensioni governate dai carichi verticali, variabili da un minimo di 25x25 cm (anche 20x20 negli edifici più vecchi) ad un massimo variabile in funzione del numero di piani (σ_{amm} più bassa per quelli più vecchi).
	travi: - di dimensioni governate dai soli carichi verticali e uguali a tutti i piani (quasi sempre tutte emergenti).
	scale: - quasi sempre con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; - raramente a soletta rampante; - creano sempre pilastri tozzi.
	fondazioni: - a plinti isolati diretti o su pali con travi porta-tompagno sul contorno ed in corrispondenza delle scale; - travi rovesce in una sola direzione con travi porta-tompagno nell'altra direzione sul perimetro.

Scheda 7: CA-2 EDIFICI COSTRUTITI DAL 1939 AL 1970	
Definizione	Struttura concepita in modo da sostenere i soli carichi verticali, con telai perimetrali con travi emergenti e interni in una sola direzione con travi emergenti o a spessore. Le tamponature possono essere di tipo pesante (quasi sempre fino a metà degli anni '60) o di tipo leggero (in genere a doppia fodera dal 1970 in poi).
Descrizione dei componenti	**solai:** - gettati in opera o semiprefabbricati (tipo SAP o similari fino a metà degli anni '60) spesso senza soletta superiore (soprattutto fino alla metà degli anni '60).
	pilastri: - di dimensioni governate dai carichi verticali variabili da un minimo di 25x25 cm (anche 20x20 negli edifici più vecchi) ad un massimo variabile in funzione del numero di piani (σ_{amm} più bassa per quelli più vecchi).

segue >

> continua

Descrizione dei componenti	**travi:** - di dimensioni governate dai soli carichi verticali e uguali a tutti i piani (sia emergenti che a spessore).
	scale: - con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; - a volte (per esigenze architettoniche) con soletta rampante; - in entrambi i casi creano pilastri più o meno tozzi.
	fondazioni: - a plinti isolati diretti o su pali con travi porta-tompagno sul perimetro ed in corrispondenza delle scale; - travi rovesce in una sola direzione con travi porta-tompagno sul perimetro nell'altra direzione.

Scheda 8: CA-3 EDIFICI COSTRUTITI DAL 1971 FINO ALLA DATA DI ENTRATA IN VIGORE DELLE NORME SISMICHE PER QUELLA ZONA	
Definizione	Struttura concepita in modo da sostenere i soli carichi verticali, con telai perimetrali e interni in una sola direzione con travi emergenti e/o a spessore. Le tamponature sono quasi sempre di tipo leggero. Il progetto è depositato al genio civile.
Descrizione dei componenti	**solai:** - gettati in opera o semiprefabbricati (in genere con travetti precompressi o tralicciati ad armatura lenta) quasi sempre con soletta superiore armata.
	pilastri: - di dimensioni governate dai carichi verticali variabili da un minimo di 25x25 cm ad un massimo variabile in funzione del numero di piani.
	travi: - di dimensioni governate dai soli carichi verticali e uguali a tutti i piani.
	scale: - con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; - a volte (per esigenze architettoniche) con soletta rampante; - in entrambe i casi creano pilastri più o meno tozzi.
	fondazioni: - a plinti isolati diretti o su pali con travi porta-tompagno sul perimetro ed in corrispondenza delle scale; - travi rovesce in una sola direzione con travi porta-tompagno sul perimetro nell'altra direzione.

Scheda 9: CA-4 EDIFICI COSTRUTITI DOPO L'ENTRATA IN VIGORE DELLE NORME SISMICHE PER QUELLA ZONA	
Definizione	Edifici realizzati secondo le norme sismiche con telai in entrambe le direzioni (con travi emergenti e/o a spessore soprattutto all'interno) quasi sempre con tamponature leggere.
Descrizione dei componenti	**solai:** - gettati in opera o semiprefabbricati (in genere con travetti precompressi o tralicciati ad armatura lenta) sempre con soletta superiore armata.
	pilastri: - di dimensioni maggiori (rispetto alle altre tipologie di edifici) fino all'ultimo piano, di forma in genere rettangolare (quasi sempre governati dai carichi verticali con σ_{amm} ridotta (30-40 kg/cm2).
	travi: - travi emergenti nei telai di bordo, di dimensioni maggiori (rispetto alle altre tipologie di edifici) e variabili ai vari piani, e travi a spessore (soprattutto nei telai interni) spesso molto larghe con errori di armatura soprattutto per il taglio.
	scale: - con trave a ginocchio negli edifici più vecchi; - quasi sempre a soletta rampante negli edifici moderni dopo il 1980; - a volte "alla Giliberti" con soletta rampante (soprattutto al Sud) dopo il 1990, che non creano pilastri tozzi.
	fondazioni: - a plinti diretti o su pali collegati in entrambe le direzioni; - reticolo di travi rovesce o travi rovesce in una direzione con travi di collegamento nell'altra; - platea continua diretta.

CONCLUSIONI

La necessità per la protezione civile di prevedere scenari di danno sufficientemente attendibili per eventuali futuri terremoti rende indispensabile anche una valutazione su ampia scala della vulnerabilità sismica degli edifici di intere aree costruite. D'altronde la recente emanazione del D.M. n.58 del 28/02/2017 (il cosiddetto decreto sul Sisma Bonus), richiedendo la definizione della Classe di Rischio per il singolo edificio esistente, ne ha in pratica "sdoganato" la sua determinazione anche in modo semplificato.

L'osservazione dei danni subiti dagli edifici dopo i terremoti degli ultimi decenni, considerazioni teoriche sulle caratteristiche costruttive in relazione al comportamento strutturale e i risultati di sperimentazioni numeriche svolte dagli stessi autori hanno consentito la definizione di una classificazione tipologica-strutturale comprendente 5 classi di edifici in muratura esistenti e 4 classi per i più moderni edifici in c.a., correlata anche all'epoca di costruzione.

Tale classificazione, essendo basata soprattutto sull'epoca di costruzione e su poche altre informazioni tecniche in genere acquisibili senza grosse difficolta, appare agli autori utile per effettuare valutazioni speditive sul campo di vulnerabilità sismica del costruito, che potrebbero essere condotte con risultati affidabili anche da tecnici non particolarmente esperti, purché addestrati con una adeguata formazione. Inoltre, essa può essere adottata anche per una prima valutazione semplificata di capacità sismica per gli edifici singoli.

BIBLIOGRAFIA | REFERENCES

ARTICOLI PUBBLICATI SU RIVISTE

[1] Benedetti D., Petrini V., "On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure". L'industria delle Costruzioni, pp. 66-78, 1984.
[2] Bernardini A., Giovinazzi S., Lagomarsino S., "Comparison and refinement of two EMS-98 derived vulnerability methods: towards a unique definition". Proceedings of the first European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Geneva (Switzerland), 2006.
[3] Cosenza E., Manfredi G., Polese M., Verderame G., M., "A multilevel approach to the capacity assessment of RC buidings. Journal of Earthquake Engineering, pp. 1-22, 2015.
[4] Degli Abbati S., Cattari C., Marassi I., Lagomarsino S., "Seismic out-of-plane of Podestà Palace in Mantua (Italy)", Key Engineering Materials, Trans Tech Pubblication, Volume 624, Switzerland, pp. 88-96,2015.
[5] Dolce M., Kappos A., Masi A., Penelis G., Vona M., "Vulnerability assessment and earthquake damage scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) using Italian and Greek methodologies", Engineering Structures 28, pp. 357-371, 2006.
[6] Zuccaro G., Cacace F., "Valutazione speditiva della vulnerabilità per gli edifici strategici della Regione Campania. Ingegneria Sismica n.2, 2006.
[7] Zuccaro G., Cacace F., "Seismic vulnerability assessment based on typological characteristics. The first level procedure SAVE", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2015.

ATTI DI CONVEGNI

[8] Bernardini A., "Classi macrosismiche di vulnerabilità degli edifici in area veneto-friuliana". Atti del XI Convegno ANIDIS. Genova, 2004.
[9] Braga F., Dolce M., Liberatore D., "Southern Italy November 23, 1980 Earthquake: A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K. -76 scale". CNR-PFG n. 503. Roma, 1982.
[10] Braga F., Dolce M., Liberatore D., "A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K. -76 scale". Proceedings of the 7th European conference on earthquake engineering, Atene, 1985.
[11] Calderoni B., Lenza P., "L'adeguamento sismico dell'edilizia ordinaria in muratura alla luce della nuova normativa", Atti del 15° Congresso CTE, Bari, 2004.
[12] Calderoni B., Cordasco E.A., Lenza P., "Vulnerability and assessment of existing r.c. buildings in seismic areas", Atti del 2nd International Fib Congress, Naples, Italy, june (su CD-Rom n. 9-43), 2006.

[13] Calderoni B., Cordasco E.A., Lenza P., "Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in c.a. valutati con metodi non-lineari avanzati". Volume "Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti in c.a.". (Editors: E. Cosenza, G. Manfredi, G. Monti), Polimetrica International Scientific Publisher, Monza. Convegno Nazionale ReLUIS, Roma, pp. 503-510, 2008.
[14] Calderoni B., Cordasco E.A, Lenza P., Pacella G., "Seismic vulnerability assessment of historical mansory buidings", Proceedings of Prohitec Conference (Mazzolani ed.), Taylor & Francis Group, London. Roma, pp. 1443-1448,2009.
[15] Calderoni B., Cordasco E.A., Prota A., "Analisi del comportamento degli edifici in muratura moderni di L'Aquila in relazione alla normativa tecnica del 1900", Atti del XIV Convegno ANIDIS, Bari (su CD-Rom n.065-919), 2011.
[16] Calderoni B., Cordasco E.A., Prota A., "Analisi dei danni degli edifici in muratura moderni a seguito del terremoto dell'Aquila", Atti del 4th Workshop on Design for Rehabilitation of Masonry Strcutures "WONDERmasonry", Firenze, pp. 282-301, 2012.
[17] Calderoni B., Sandoli. A., Migliaccio L., Lomonte A., "La valutazione della capacità sismica di un edificio in c.a. progettato per i soli carichi verticali finalizzata alla messa a punto di una metodologia semplificata", Atti del XVI Convegno ANIDIS, L'Aquila, 2015.
[18] Calderoni B., Prota A., Cordasco E., A., Sandoli A., "Seismic vulnerability of "ancient" masonry buildings and strengthening intervention strategies", Proceeding of 16th International Masonry Conference IBMAC, Padova, 2016.
[19] Di Pasquale G., Orsini G., Pugliese A., Romeo R., "Damage scenario for future earthquakes". Proceedings on the 11th European Conference on Earthquake Engineering. Parigi, 1998.
[20] Dolce M., Zuccaro G., Papa F., Masi A., "Remarks on the seismic damage in the recent earthquakes in Europe". Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering. Londra, 2002.
[21] Ferlito R., Zucconi M., "Proposta di una nuova metodologia per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura nei centri urbani". Atti del XVI Convegno ANIDIS. L'Aquila, 2015.

LIBRI E MONOGRAFIE

[22] Calderoni B., Cordasco E.A., Lenza P., Pacella G., "Considerazioni sui danni agli edifici in muratura del centro storico de L'Aquila". Volume, L'Università e la ricerca per L'Abruzzo. Il patrimonio culturale dopo il terremoto del 6 Aprile del 2009, Curatori: L. Milano, C. Morisi, C. Calderini, A. Donatelli, Casa editrice Textus, pp. 360-367, 2011.
[23] Cosenza E. (editor), "Il comportamento sismico degli edifici in c.a. progettati per carichi verticali – Applicazioni all'edilizia di Catania", GNDT (CNR), Roma, 2001.
[24] Pagano M., "Teoria degli edifici vol.1 – Edifici in muratura", Liguori Editore, Napoli, 1968.
[25] Pagano M., "Teoria degli edifici vol.2 - Edifici in cemento armato", Liguori Editore, Napoli, 1977.
[26] Pagano M., "Costruire in Muratura, nuove normative", Liguori Editore, Napoli,1990.
[27] Liberatore D. (editor), "Progetto Catania, Indagine sulla risposta sismica di due edifici in muratura", GNDT (CNR), Roma, 2001.

View publication stats