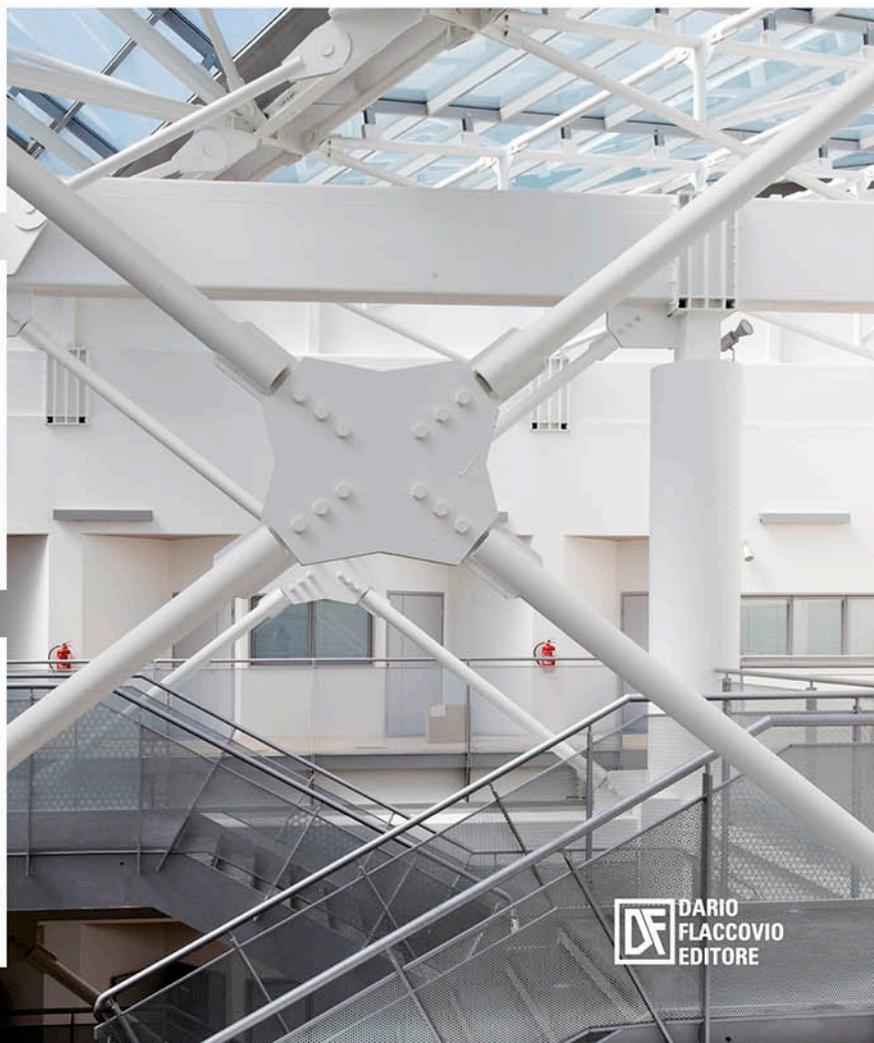
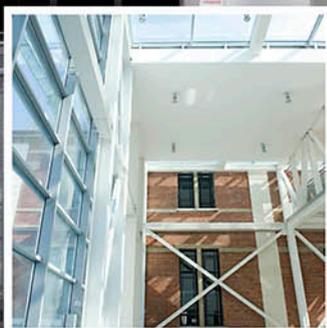


# PROTEZIONE SISMICA DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A. CON CONTROVENTI DISSIPATIVI IN ACCIAIO

Franco Braga, Francesca Buttarazzi, Andrea Dall'Asta, Walter Salvatore



**Collana Acciaio**

serie Monografie

11

# **PROTEZIONE SISMICA DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A CON CONTROVENTI DISSIPATIVI IN ACCIAIO**

a cura di  
Franco Braga, Francesca Buttarazzi,  
Andrea Dall'Asta, Walter Salvatore

A CURA DI

Franco Braga, Francesca Buttarazzi, Andrea Dall'Asta, Walter Salvatore

PROTEZIONE SISMICA DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

CON CONTROVENTI DISSIPATIVI IN ACCIAIO

ISBN 9788857904542

© 2015 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it    info@darioflaccovio.it

Prima edizione: aprile 2015

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, aprile 2015

Una pubblicazione di:



Fondazione Promozione Acciaio

Via Vivaio, 11

20122 Milano – Italia

Tel. 02.86313020

info@promozioneacciaio.it

www.promozioneacciaio.it

Redazione:



c/o Fondazione Promozione Acciaio

Via Vivaio, 11

20122 Milano – Italia

Tel. 02.86313020

info@promozioneacciaio.it

www.promozioneacciaio.it

In copertina

Istituto Scolastico “G. Falcone”, Gallarate (VA) - Studio Amati srl

Foto: Lorenzo De Simone - Fondazione Promozione Acciaio

Un particolare ringraziamento va a tutti i Soci di Fondazione Promozione Acciaio



Associazione Italiana Zincatura



ArcelorMittal



GRUPPO **BT** BELTRAME



BLM GROUP



COMMERCIALE  
SIDERURGICA  
BRESCIANA

Duferdofin **IN** NUCOR



**gabrielli**  
steel service centre



Industeel



Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe



LAVORAZIONE LAMIERE  
CARPENTERIA IN FERRO E ACCIAIO INOX

**ROSA & C.**



Il futuro è la nostra materia



Gruppo d'Acquisto Prodotti Siderurgici



STAHLBAU  
PICHLER



STEFANA spa



WWW.TTMLASER.COM



**UPIVEB**

Unione  
Produttori Italiani  
Viteria e Bulloneria



Commercio Prodotti Siderurgici



PRODOTTI SIDERURGICI  
TUBI STRUTTURALI  
VICINI



Wise  
House

# INDICE GENERALE

<i>Prefazione a cura di Fondazione Promozione Acciaio</i> .....	pag. 11
<i>Nota al testo</i> .....	» 13

## **1. Introduzione**

1.1. Premessa.....	» 15
1.2. Obiettivi della monografia .....	» 18
1.3. Ringraziamenti.....	» 19
1.4. Organizzazione del volume.....	» 19
1.5. Quadro normativo.....	» 21

## **2. Ipotesi generali e requisiti generali prestazionali di una costruzione in c.a.**

2.1. Criteri generali di progettazione e cenni normativi .....	» 23
2.2. Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti.....	» 28
2.3. Edifici in c.a.: tipologie strutturali e vulnerabilità sismica .....	» 34
2.4. Prestazioni richieste: strategia progettuale.....	» 38
2.5. Tecniche di intervento in zona sismica.....	» 42

## **3. Valutazione della capacità sismica di edifici in c.a.**

3.1. Introduzione .....	» 45
3.2. Conoscenza dello stato di fatto del fabbricato .....	» 45
3.2.1. Analisi storico-critica.....	» 46
3.2.2. Rilievo geometrico e strutturale .....	» 46
3.2.3. Caratterizzazione meccanica del materiale .....	» 50
3.2.4. Definizione del livello di conoscenza .....	» 53
3.3. Caratterizzazione meccanica del suolo di fondazione.....	» 55
3.4. Valutazione delle azioni agenti sulla costruzione.....	» 57
3.5. Modellazione dell'edificio e analisi strutturale .....	» 60
3.5.1. Modellazione lineare delle strutture .....	» 61

#### **4. Dispositivi per la dissipazione d'energia**

4.1. Introduzione .....	»	69
4.2. Dispositivi viscosi e viscoelastici .....	»	70
4.2.1. Aspetti generali .....	»	70
4.2.2. Comportamento costitutivo e parametri caratteristici .....	»	74
4.2.3. Influenza sulla risposta dinamica .....	»	82
4.3. Dispositivi isteretici .....	»	86
4.3.1. Aspetti generali .....	»	86
4.3.2. Comportamento costitutivo e parametri caratteristici .....	»	92
4.3.3. Influenza sulla risposta dinamica .....	»	97
4.4. Controvento dissipativo .....	»	100
4.4.1. Configurazione .....	»	100
4.4.2. Deformabilità dei collegamenti .....	»	102
4.5. Qualifica, accettazione e manutenzione .....	»	105
4.5.1. Aspetti generali e quadro normativo .....	»	105

#### **5. Miglioramento della risposta al sisma con controventi dissipativi**

5.1. Generalità .....	»	109
5.2. Stato dell'arte delle procedure di progettazione .....	»	112
5.3. Progettazione del sistema di protezione con controventi dissipativi ....	»	114
5.3.1. Progettazione prestazionale .....	»	114
5.3.2. Caratterizzazione strutturale di telai con controventi elastici ...	»	116
5.3.2.1. Equazioni del moto del telaio senza controventi .....	»	117
5.3.2.2. Equazioni del moto del telaio con controventi elastici .....	»	118
5.3.2.3. Semplificazione del problema dinamico .....	»	119
5.3.2.4. Metodo della condensazione statica:		
sistema non smorzato .....	»	121
5.3.2.5. Metodo della condensazione statica:		
sistema smorzato classicamente .....	»	123
5.3.3. Procedura di ottimizzazione di un sistema di controventi elastici (dimensionale e topologica) .....	»	123
5.3.3.1. Variabili di progetto .....	»	124
5.3.3.2. Funzione obiettivo .....	»	129
5.3.3.3. Condizioni di vincolo .....	»	130
5.3.3.4. Formulazione del problema di ottimizzazione strutturale .....	»	132
5.3.3.5. Analisi delle sollecitazioni indotte nei pilastri .....	»	133
5.3.4. Procedura di ottimizzazione di un sistema di controventi dissipativi .....	»	133
5.3.4.1. Scelta del livello di smorzamento .....	»	136
5.3.4.2. Riduzione delle azioni sismiche .....	»	136

5.3.4.3. Determinazione della rigidezza dei controventi .....	» 136
5.3.4.4. Calcolo delle caratteristiche dissipative di ciascun controvento.....	» 137
5.3.5. Confronto tra la soluzione elastica e la soluzione con dissipazione energetica .....	» 139
 <b>6. Esempio applicativo</b>	
6.1. Descrizione dell'edificio esistente .....	» 141
6.1.1. Materiali e dettagli costruttivi .....	» 142
6.1.1.1. Materiali .....	» 142
6.1.1.2. Dettagli costruttivi .....	» 144
6.1.2. Carichi ed azioni .....	» 147
6.1.2.1. Carichi gravitazionali.....	» 147
6.1.2.2. Azione sismica .....	» 150
6.2. Valutazione della capacità .....	» 151
6.2.1. Modellazione ed analisi della struttura.....	» 151
6.2.2. Risultati dell'analisi statica non lineare e verifiche di vulnerabilità sismica .....	» 153
6.2.2.1. Verifica degli elementi "duttili" .....	» 154
6.2.2.2. Verifica degli elementi "fragili" .....	» 159
6.3. Adeguamento sismico dell'edificio.....	» 160
6.3.1. Adeguamento con controventi elastici.....	» 162
6.3.2. Adeguamento con controventi dissipativi .....	» 168
6.3.3. Confronto tra soluzione elastica e dissipativa.....	» 171
6.3.4. Progetto dei dispositivi di dissipazione.....	» 173
6.4. Conclusioni.....	» 176
 Bibliografia .....	 » 179



Il presente volume, incentrato sull'adeguamento sismico di edifici esistenti in cemento armato attraverso l'utilizzo di controventi dissipativi in acciaio, intende fornire un utile strumento pratico rivolto ai professionisti, su un tema di imprescindibile importanza per il patrimonio costruito italiano e tuttavia scarsamente approfondito e trattato a livello accademico e nella *pratica* professionale. Sebbene i codici normativi vigenti per gli edifici in zona sismica contengano indicazioni sull'adeguamento del costruito attraverso interventi innovativi quali i sistemi di isolamento alla base, l'utilizzo di controventi dissipativi inseriti all'interno degli edifici esistenti risulta un argomento poco approfondito e trattato. L'opera è suddivisa nei seguenti capitoli che trattano in modo completo ed esaustivo la protezione degli edifici in c.a.: *Ipotesi generali e requisiti generali prestazionali di una costruzione in c.a.*; *Valutazione della capacità sismica di edifici esistenti in c.a.*; *Dispositivi per la dissipazione di energia*; *Miglioramento della risposta al sisma con controventi dissipativi*; *Esempio applicativo: adeguamento sismico di un edificio in c.a. di 6 piani fuori terra mediante l'utilizzo di controventi dissipativi*.

La monografia *Protezione sismica di edifici esistenti in c.a. con controventi dissipativi in acciaio* è distribuita in Italia quale undicesimo volume della collana "Acciaio" edita da Fondazione Promozione Acciaio e curata dalla Commissione Sismica per le Costruzioni in Acciaio.

Dal 2008 la Fondazione fornisce al professionista una serie di pubblicazioni tecniche dedicate alla progettazione in acciaio aggiornate alle più recenti normative. Fanno parte della medesima collana: *Acciai strutturali, prodotti e sistemi di unione*, *Analisi di una soluzione monopiano con il metodo plastico*, *Edifici monopiano in acciaio ad uso industriale*, *Progettazione di strutture in acciaio secondo le NTC e gli Eurocodici – basi concettuali ed esempi di calcolo*, *Progettazione di strutture composte acciaio – calcestruzzo secondo gli Eurocodici e le Norme Tecniche per le Costruzioni*, *Collegamenti in acciaio in edifici monopiano e multipiano – Eurocodice 3*, *Progettazione di giunzioni e strutture tubolari in acciaio*, *I pannelli coibentati in acciaio nella progettazione e realizzazione di strutture e involucro*, *Verifica e progetto di aste in acciaio – sforzo normale, flessione semplice e composta* e *Guida all'architettura multipiano in acciaio – manuale tecnico pratico*.

Il nostro auspicio è che la collana "Acciaio" possa contribuire ad una maggiore conoscenza delle opere in acciaio, capaci di distinguersi per gli elevati standard qualitativi oltre ad altri importanti vantaggi quali la sostenibilità ambientale, la rispondenza ai requisiti di antisismicità, la funzionalità, le potenzialità architettoniche, la rapidità costruttiva e la semplicità di messa in opera.

Consapevole che in Italia le quote di mercato delle costruzioni in acciaio sono molto inferiori rispetto alla media europea, principalmente per la limitata conoscenza del ma-

teriale e delle sue peculiarità, FPA si impegna nel promuovere costantemente la cultura dell'acciaio presso il proprio target di riferimento, costituito da professionisti e studi di progettazione, imprese di costruzione, committenti pubblici e privati, senza dimenticare di rivolgere uno sguardo al futuro, dedicando molta attenzione all'insegnamento nelle università.

Attraverso il sostegno dei maggiori produttori d'acciaio italiani ed europei e di altri importanti rappresentanti della filiera tra cui trasformatori, centri di servizio, costruttori metallici e progettisti, uniti nello scopo di promuovere l'impiego dell'acciaio nelle costruzioni ed infrastrutture, la Fondazione pone al servizio degli operatori del settore delle costruzioni italiano le competenze tecniche e scientifiche dei Soci, sviluppando un'azione costante di comunicazione ed informazione a supporto dei professionisti, degli studenti universitari, dei committenti pubblici e privati, sulle possibilità e i vantaggi offerti dalle soluzioni in acciaio.

La Fondazione Promozione Acciaio è attiva nel settore delle costruzioni e infrastrutture in acciaio attraverso quattro commissioni tecniche: *Commissione Sismica per le Costruzioni in Acciaio*, *Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni in Acciaio in caso d'Incendio*, *Commissione per le Costruzioni in Acciaio Ecosostenibili*, *Gruppo di lavoro Normative*, che toccano temi prioritari per le costruzioni metalliche: l'efficienza dell'acciaio in zona sismica, la sicurezza di fronte all'incendio, la sostenibilità del materiale e le nuove responsabilità introdotte dalla normativa di settore.

Le commissioni hanno un ruolo di primo piano nell'insegnamento e nella promozione delle soluzioni costruttive in acciaio, curando la realizzazione delle predette monografie tecniche e l'organizzazione di qualificati corsi di formazione oltre al costante aggiornamento del portale [www.promozioneacciaio.it](http://www.promozioneacciaio.it).

FPA è anche un Ufficio Tecnico che fornisce assistenza tecnica, scientifica e normativa a chi già sviluppa e progetta costruzioni metalliche o anche solo a chi desidera ampliare le proprie conoscenze professionali.

I ringraziamenti da parte di Fondazione Promozione Acciaio vanno agli autori del volume, prof. Franco Braga, ing. Francesca Buttarazzi, prof. Andrea Dall'Asta e prof. Walter Salvatore; si desiderano inoltre ringraziare coloro che hanno contribuito alla realizzazione dei singoli capitoli: Silvia Caprili, Giuseppina Conti, Francesco Morelli, Laura Ragni, Enrico Tubaldi.

Un ringraziamento va inoltre ai Soci della Fondazione, per il costante supporto verso la *mission* di FPA: la diffusione e la divulgazione della cultura del progettare e del costruire in acciaio.

Simona Maura Martelli  
*Direttore Generale*  
*Fondazione Promozione Acciaio*

## Nota al testo

Il presente volume è stato redatto secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 e successiva circolare esplicativa del Febbraio 2009 ed i riferimenti normativi che compaiono all'interno dei capitoli sono ad esse correlati.

È fondamentale precisare che i contenuti tecnici e progettuali del volume **sono in linea con la bozza di testo di revisione delle Norme Tecniche approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in data 14/11/2014** e che, al momento della stesura di questa monografia, sta attraversando l'iter burocratico che porterà alla pubblicazione del nuovo testo normativo.

# 1. Introduzione

## 1.1. Premessa

Alla luce degli ultimi eventi sismici che hanno interessato il territorio nazionale e del variegato panorama edilizio italiano, caratterizzato da un'elevata vulnerabilità sismica, la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti assume un'importanza fondamentale ai fini della riduzione del rischio sismico nazionale.

Il comportamento degli edifici soggetti a terremoti di elevata intensità ha evidenziato come, anche nei casi in cui le strutture abbiano resistito alle sollecitazioni di natura sismica senza riportare danni estesi, si siano comunque registrati numerosi danni agli elementi non strutturali (architettonici e impiantistici).

Di conseguenza, le più recenti normative sismiche, oltre alle caratteristiche di resistenza degli organismi strutturali, da sempre ritenute di primaria importanza, hanno iniziato a prestare maggiore attenzione alle loro caratteristiche di deformabilità, specie quando in essi siano inserite le componenti non strutturali.

A tal proposito, riferendosi alla puntuale caratterizzazione degli elementi non strutturali presente nei documenti normativi americani (**FEMA 356 *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings***), si rileva una rigidità di tali elementi elevata, generalmente maggiore di quella degli elementi strutturali, e la conseguente necessità di introdurre limiti più stringenti di deformabilità sulle strutture (v. **FEMA 356**, cap. 1.5.2 *Nonstructural Performance Levels*) per ridurre il danneggiamento degli elementi non strutturali, a seguito di un terremoto.

Se gli edifici esistenti non evidenziano un giusto equilibrio tra resistenza e deformabilità è molto probabile che possano verificarsi situazioni in cui, mentre sono salvaguardati i requisiti di Salvaguardia della Vita e di Prevenzione del Collasso grazie al corretto dimensionamento degli elementi strutturali e alla attenzione rivolta alla definizione dei dettagli costruttivi, i requisiti di Operatività e di Prevenzione del Danno non sempre siano rispettati, soprattutto quando ci si riferisce alle verifiche degli elementi non strutturali.

La Normativa Italiana (D.M. 14/01/2008 *Norme Tecniche per le Costruzioni*, nel seguito **NTC08**) nel capitolo 7 relativo alla progettazione per azioni sismiche fornisce i criteri di progettazione di elementi strutturali "secondari" ed elementi non struttura-

li, riportando il calcolo degli effetti dell'azione sismica (v. §7.2.3) e degli impianti (v. §7.2.4), oltre ad elencare una serie di accorgimenti per il corretto collegamento degli impianti alla struttura e per limitare il rischio di malfunzionamento degli stessi, soprattutto a causa degli spostamenti relativi tra costruzione e terreno.

In questo contesto, l'inserimento di controventi dissipativi come misura innovativa per il miglioramento/adequamento sismico di edifici esistenti rappresenta un'efficace soluzione al problema della riduzione del rischio sismico di edifici che non rispettino i requisiti prestazionali introdotti dalle **NTC08**. Tale tecnica, infatti, riduce drasticamente sia la deformabilità del sistema (grazie alla rigidità dei controventi) sia l'entità delle forze in gioco (grazie alla capacità dissipativa dei dispositivi inseriti nei controventi). Ciò comporta un evidente miglioramento del comportamento, sia dell'intero organismo strutturale, sia di tutti gli elementi non strutturali in esso contenuti (tamponature, elementi architettonici, componenti impiantistiche etc.).

In linea generale, si tratta d'interventi che richiedono una progettazione più impegnativa e più approfondite analisi di dettaglio rispetto alle tecniche d'intervento tradizionali e sono, pertanto, da preferire qualora si debba conseguire un miglioramento sostanziale della risposta al sisma della struttura. Solo in questo caso, infatti, il committente è disposto a sostenere i maggiori costi associati al progetto, alla produzione e all'installazione di controventi e dissipatori, anche se i costi sono spesso compensati da una riduzione degli interventi d'irrigidimento e/o irrobustimento delle strutture.

È utile confrontare brevemente gli effetti dell'inserimento dell'isolamento alla base con gli effetti dell'inserimento dei controventi dissipativi, ossia gli effetti delle due tecniche d'intervento oggi più innovative, per rendere più consapevole la loro adozione che, peraltro, non è alternativa e, spesso, può essere congiunta.

L'isolamento alla base, spostando i periodi propri della struttura in una zona dello spettro sismico a contenuto energetico più basso, riduce l'energia sismica in ingresso nella struttura esistente; gli isolatori forniscono inoltre una significativa dissipazione che determina un ulteriore abbattimento di sollecitazioni e spostamenti. Dunque si ha, contemporaneamente, riduzione dell'energia in ingresso e incremento della sua dissipazione.

L'inserimento di controventi e dispositivi di dissipazione energetica, spostando i periodi propri della struttura in una zona dello spettro sismico a contenuto energetico più alto, incrementa l'energia sismica in ingresso, ma la concentra nei controventi (riducendo la quantità d'energia che entra nella struttura esistente) per poi abatterla ulteriormente, grazie alla capacità dissipativa dei dispositivi.

Nell'ambito di un approccio progettuale prestazionale la scelta di sistemi di miglioramento/adequamento sismico innovativi deve essere legata agli obiettivi prestazionali che si vogliono raggiungere (come si vedrà nel capitolo 2). Per incoraggiare il progettista ad adottare l'isolamento e/o la dissipazione le **FEMA 356** indicano i livelli prestazionali per i quali la protezione tramite sistemi d'isolamento e/o di dis-

sipazione è una valida alternativa alle tecniche di intervento tradizionali. In particolare, l'isolamento alla base dovrebbe essere preso in considerazione per conseguire i requisiti di Immediata Occupabilità per gli elementi strutturali e di Operatività per gli elementi non strutturali (*Stati Limite di Esercizio* secondo le **NTC08**) ma non è pienamente soddisfacente se la strategia progettuale vuole conseguire il requisito di Prevenzione del Collasso.

L'intervento mediante isolamento fornisce una protezione significativa degli elementi strutturali, dei componenti non strutturali e di quanto contenuto nell'organismo edilizio ad un costo che, tuttavia, spesso ne preclude la applicazione quando le risorse economiche e gli obiettivi dell'intervento sono limitati.

**Tabella 1.1. FEMA 356 (Table C9-1) Applicabilità di sistemi di protezione sismica con Isolamento e Dissipazione energetica**

Livello prestazionale	Performance Range	Isolamento	Dissipazione energetica
Operatività	Controllo del danno	Molto probabile	Applicabilità limitata
Occupabilità Immediata		Probabile	Probabile
Salvaguardia della Vita	Sicurezza limitata	Applicabilità limitata	Probabile
Prevenzione del Collasso		Non consigliabile	Applicabilità limitata

L'intervento mediante controventi dissipativi è invece caratterizzato da un più esteso campo di applicazione. Per gli edifici in cui l'isolamento non può essere utilizzato data l'elevata flessibilità delle strutture esistenti (ad esempio gli edifici particolarmente alti), i sistemi di dissipazione energetica rappresentano una valida strategia progettuale quando l'obiettivo prestazionale è rappresentato dallo Stato Limite di Danno. E ancora, utilizzando dispositivi di dissipazione energetica non troppo sofisticati è possibile conseguire, ad un costo contenuto, il requisito della Salvaguardia della Vita.

In generale, i sistemi di dissipazione energetica sono considerati appropriati quando i Livelli Prestazionali che si vogliono conseguire sono appunto l'Immediata Occupabilità (SLD) e la Salvaguardia della Vita (SLV).

Ulteriori obiettivi progettuali possono inoltre influenzare la scelta di utilizzare dispositivi di dissipazione energetica, dal momento che l'inserimento di questi dispositivi e dei controventi può essere vantaggioso per il controllo della risposta della struttura a terremoti di intensità medio-bassa e/o ad altre azioni dinamiche quali ad esempio il vento o le vibrazioni dovute alla presenza di macchinari.

La grande versatilità della protezione tramite controventi dissipativi, la possibilità di migliorare la risposta della struttura non solo nei confronti delle azioni sismiche e la mancanza di riferimenti normativi nazionali per tale tipologia d'intervento sono tra le principali ragioni che hanno portato a dedicare a questo tema una monografia, limitando peraltro la trattazione al caso di edifici esistenti con struttura a telaio in cemento armato, per i motivi che saranno meglio evidenziati nel seguito.

## 1.2. Obiettivi della monografia

Obiettivo principale della monografia è fornire uno strumento di utilità pratica per i professionisti coinvolti in progetti di miglioramento/adeguamento sismico di edifici con struttura in cemento armato che prevedano l'inserimento di controventi dissipativi.

Allo stato attuale, infatti, mentre quasi tutti i codici normativi per edifici in zona sismica contengono indicazioni progettuali per interventi innovativi tramite isolamento alla base, spazio ancora limitato è dedicato alle regole progettuali utili per effettuare interventi con controventi dissipativi.

D'altra parte, sia l'isolamento alla base sia la dissipazione energetica sono metodologie d'intervento relativamente nuove e sofisticate che richiedono analisi più approfondite e complesse di quelle richieste dagli interventi di tipo tradizionale; è necessario valutare, infatti, oltre alla capacità degli elementi strutturali esistenti anche le modifiche delle caratteristiche dinamiche della struttura a seguito dell'introduzione dei sistemi di isolamento e/o di dissipazione, in funzione delle caratteristiche meccaniche dei dispositivi utilizzati.

Nell'ideare l'intervento non si può pertanto prescindere da un'esauriente conoscenza dei dispositivi attualmente in commercio e delle loro caratteristiche in termini di risposta ad azioni cicliche, durabilità delle proprietà meccaniche dei materiali impiegati, affidabilità nel comportamento.

Altro aspetto fondamentale per l'ideazione dell'intervento è quello della modellazione: verranno fornite le indicazioni specifiche necessarie per rappresentare correttamente l'inserimento dei sistemi di dissipazione energetica nella maglia strutturale, avendo ben presente che il modello dovrà includere gli elementi di collegamento alla struttura sia dei controventi sia di tutti gli elementi strutturali che lavorano in serie con essi e che, come si vedrà, modificano la rigidità e lo smorzamento effettivamente forniti dai sistemi dissipativi.

Prima di entrare nel vivo della progettazione d'interventi con controventi dissipativi (capitoli 4 e 5) e di riportare un esempio pratico di applicazione della procedura di progettazione proposta (capitolo 6), si esamineranno le caratteristiche degli edifici esistenti con struttura in cemento armato, le diverse tecniche di riabilitazione sismica e la loro diversa efficacia in funzione della tipologia strutturale, ripercorrendo le fasi previste dalle **NTC08** per la valutazione della capacità (capitoli 2 e 3).

La scelta di limitare la trattazione al caso di edifici con struttura a telaio in cemento armato è stata motivata dal fatto che un intervento con controventi dissipativi si adatta meglio a strutture 'puntiformi' (quali sono appunto, nella maggioranza casi, quelle con telai in c.a.) che a strutture 'lineari' (quali quelle in muratura o con pareti in c.a.). La distinzione tra struttura 'puntiforme' e struttura 'lineare' è motivata dal modo in cui l'organismo strutturale assorbe le azioni orizzontali di natura sismica e le convoglia agli elementi di fondazione.

Nella struttura 'puntiforme' le azioni sono assorbite da elementi puntuali, quali i

pilastri, o al più da pochi elementi lineari, le pareti, utilizzati principalmente per resistere ad azioni orizzontali; in una struttura di questo tipo l'inserimento dei controventi, ovvero di ulteriori elementi puntuali di raccolta di sollecitazioni, rispetta la natura originaria dell'organismo strutturale semplificando la connessione di nuove strutture, i controventi, alle strutture esistenti e quindi assicurando l'efficacia dell'intervento.

Nella struttura 'lineare' la maggior parte delle azioni di natura sismica è assorbita da elementi bidimensionali (in muratura o in cemento armato), le pareti; l'inserimento di controventi comporta l'applicazione di forze concentrate che non sono assorbite facilmente da strutture a comportamento bidimensionale, non progettate per questo tipo di carichi; da qui la necessità di effettuare interventi invasivi sull'organismo strutturale esistente, con un aggravio in termini di costi non giustificato dal risultato conseguito.

### 1.3. Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare per il contributo alla realizzazione del presente volume:

- ing. Silvia Caprili, ricercatore universitario presso l'Università degli Studi di Pisa, per i capitoli 2 e 3;
- ing. Giuseppina Conti, libero professionista, per i capitoli 5 e 6;
- ing. Francesco Morelli, ricercatore universitario presso l'Università degli Studi di Pisa, per il capitolo 6;
- ing. Laura Ragni, ricercatore universitario presso l'Università Politecnica delle Marche, per il capitolo 6;
- ing. Enrico Tubaldi, professore a contratto presso l'Università degli Studi di Camerino, per il capitolo 4.

### 1.4. Organizzazione del volume

Il volume è articolato nei seguenti capitoli:

CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE

---

CAPITOLO 2 – IPOTESI GENERALI E REQUISITI GENERALI PRESTAZIONALI DI UNA COSTRUZIONE IN C.A.

---

Si individuano le principali cause di vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in c.a., associandole alle tipologie strutturali; si definiscono le prestazioni strutturali richieste in fase di miglioramento/adeguamento di un edificio esistente e che sono funzione della strategia progettuale prescelta; si passano in rassegna le diverse tec-

niche di intervento su edifici in c.a. evidenziando le peculiarità dell'intervento con controventi dissipativi; si individuano infine le principali fasi che caratterizzano un intervento di adeguamento di un edificio esistente che saranno descritte nel capitolo 3.

### CAPITOLO 3 – VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ SISMICA DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

---

Si descrivono nel dettaglio le fasi del progetto di valutazione della capacità sismica di edifici esistenti c.a. i cui risultati sono preliminari per la progettazione dell'intervento di adeguamento sismico più efficace. Particolare attenzione viene data alla modellazione delle componenti strutturali e non strutturali e alla individuazione degli elementi di criticità.

### CAPITOLO 4 – DISPOSITIVI PER LA DISSIPAZIONE DI ENERGIA

---

Si descrivono i dispositivi di dissipazione energetica suddivisi tra quelli basati su meccanismi dissipativi legati alla velocità (viscosi e viscoelastici) e quelli basati su meccanismi dissipativi legati agli spostamenti (isteretici). Per ogni tipologia di dispositivo si fornisce una esauriente descrizione dei parametri meccanici e del legame costitutivo. Particolare attenzione è data alla modellazione dei dispositivi, con particolare riferimento alla modellazione lineare equivalente utilizzata nella procedura progettuale presentata nel capitolo 5. Il capitolo si chiude con la descrizione delle procedure di qualifica, accettazione e manutenzione dei dispositivi che ne rendono possibile l'utilizzo nel processo costruttivo, con specifici riferimenti alle norme attualmente in vigore.

### CAPITOLO 5 – MIGLIORAMENTO DELLA RISPOSTA AL SISMA CON CONTROVENTI DISSIPATIVI

---

Il capitolo è dedicato alla progettazione di interventi di adeguamento sismico di strutture in c.a. con controventi dissipativi; si presenta una procedura di progettazione prima per il caso dei controventi elastici e poi per quello dei controventi dissipativi. La procedura progettuale, sviluppata nell'ottica di un approccio prestazionale, si basa sulla ricerca del minimo vincolato di una funzione obiettivo che tenga in conto le molteplici variabili progettuali che caratterizzano il progetto di adeguamento sismico.

### CAPITOLO 6 – ESEMPIO APPLICATIVO

---

Si sviluppa un progetto di adeguamento sismico con controventi elastici e dissipativi per un fabbricato di civile abitazione realizzato nel 1983, avente sei elevazioni fuori terra e copertura a padiglione. La struttura è intelaiata in c.a. con fondazioni superficiali su travi rovesce. L'esempio applicativo comprende una prima fase di valutazione della sicurezza dell'edificio allo stato attuale e una seconda fase relativa alla progettazione dell'intervento di adeguamento sismico tramite controventi elastici e controventi dissipativi.

## 1.5. Quadro normativo

Nel quadro normativo nazionale le **NTC08** raccolgono in un unico organico testo le norme ed i principi per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni. Il carattere innovativo di tali norme, che si allineano alle impostazioni dei più avanzati codici per la progettazione sismoresistente delle opere di ingegneria civile, ha comportato un profondo cambiamento nell'attività progettuale ed una inevitabile richiesta di approfondimenti, chiarimenti ed esemplificazioni soprattutto dei temi più complessi. A tal fine, nel 2009, sono state emanate le *Istruzioni per l'applicazione delle NTC-08* con l'intento di "fornire agli operatori indicazioni, elementi informativi ed integrazioni, per una più agevole ed univoca applicazione delle *Nuove norme tecniche per le costruzioni*"<sup>1</sup>. Ciononostante, le numerose osservazioni alle **NTC08** ricevute dagli organi istituzionali (Ordini professionali, Consiglio Nazionale degli Ingegneri, Regioni etc.) hanno portato alla istituzione di un'apposita Commissione, attivata con Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 6403 del 18.05.2011, per "l'aggiornamento della classificazione e delle norme tecniche per le costruzioni".

È proprio di questi giorni la notizia dell'approvazione da parte dell'organo tecnico del Ministero delle Infrastrutture dell'aggiornamento delle **NTC08**; tale documento dovrà ora passare in Conferenza Stato-Regioni per poi confluire in un decreto interministeriale, redatto dal Ministero delle Infrastrutture, da quello degli Interni e dal Dipartimento della Protezione Civile, che sarà poi pubblicato in Gazzetta Ufficiale. Considerato pertanto che i tempi della pubblicazione della revisione alle **NTC08** non sono ancora noti e che, comunque, anche nel testo normativo aggiornato non sarà presente un capitolo dedicato alla progettazione di interventi con controventi dissipativi su strutture esistenti, si è deciso comunque di procedere con la pubblicazione della presente monografia. La consapevolezza di muoversi in un contesto normativo in continua evoluzione ha determinato la necessità di limitare il più possibile i riferimenti alle **NCT08** il cui aggiornamento, peraltro, non ne modificherà l'impianto generale.

Le **NTC08** dedicano un intero capitolo (cap. 8) alle costruzioni esistenti e, più in particolare, al tema della progettazione di interventi su edifici in zona sismica. Importanti commenti e integrazioni sono poi contenuti nel corrispondente capitolo e nelle appendici della Circolare Min. LL.PP. n.617 del 02/02/2009 *Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008* (nel seguito **Circolare**).

La Normativa Europea dedica all'argomento la parte 3, *Valutazione e adeguamento degli edifici* dell'Eurocodice 8 *Progettazione delle strutture per la resistenza sismica*. La progettazione d'interventi con controventi dissipativi non è allo stato attuale regolamentata da alcuna Normativa nazionale.

Nella parte 5.1.3. dell'Eurocodice 8 – parte 3 si cita la possibilità di intervenire con

<sup>1</sup> V. *Introduzione* alla Circolare 02/02/2009 n. 617 del C.S.LL.PP.

inserimento di controventi dissipativi ma senza indicare i riferimenti normativi da seguire nel caso in cui si scelga di adottare questa strategia di intervento.

Bisogna riferirsi ai documenti normativi americani per trovare prescrizioni relative agli interventi mediante dissipazione energetica. Nelle **FEMA 356** (che riguardano come già ricordato gli interventi di miglioramento/adeguamento sismico di edifici esistenti) è presente un capitolo contenente indicazioni progettuali e operative sull'implementazione di interventi con dispositivi di dissipazione, sulla loro modellazione, sui metodi di analisi e sulle metodologie di prova dei dispositivi.

Al documento **FEMA 356** è poi seguito il documento emesso dalla Società Americana degli Ingegneri Civili (*American Society of Civil Engineers, ASCE*) n. 41-06, dal titolo *Seismic Rehabilitation of Buildings*.

Sempre in ambito internazionale si segnala il documento **FEMA 547**, *Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings* (2006 Edition) che descrive le più comuni tecniche d'intervento per edifici esistenti in zona sismica, tecniche utilizzate nei documenti **FEMA** e di fatto recepite dalla Normativa Italiana.

Per quanto riguarda la normativa sui dispositivi di dissipazione si farà riferimento alla **EN 15129** (corrispondente Norma Nazionale di trasposizione: **UNI EN 15129**). Tale norma, pubblicata nella GUUE il 19 marzo 2010, è entrata in vigore il 1° agosto 2010 ed è obbligatoria dal 1° agosto 2011, dopo un anno di coesistenza con le norme precedentemente in vigore.

## 2. Ipotesi generali e requisiti generali prestazionali di una costruzione in c.a.

### 2.1. Criteri generali di progettazione e cenni normativi

Gli edifici con struttura in cemento armato, al fine di conseguire meccanismi di collasso duttili, adottano oggi i criteri della progettazione in capacità (*capacity design*); si realizzano così strutture caratterizzate da un comportamento globale duttile, capaci di dissipare, in un certo numero di cicli di isteresi, l'energia immessa in esse durante il terremoto localizzandone la dissipazione in corrispondenza di specifiche zone degli elementi strutturali dette, per l'appunto, *zone critiche* o *zone dissipative*. In particolare, il comportamento globale duttile della struttura, generalmente espresso in termini di spostamenti globali ( $\mu_\delta$ ), dipende dalla capacità rotazionale degli elementi strutturali primari costituenti il sistema resistente, a sua volta legata alla capacità deformativa delle sezioni in c.a. e quindi alle caratteristiche dissipative dei materiali che le costituiscono (cemento e acciaio) (figura 2.1).

La duttilità strutturale globale è quindi dipendente dalla duttilità di ciascun elemento ( $\mu_\theta$ ), dalla duttilità di ciascuna sezione ( $\mu_\chi$ ) e, infine, dalla duttilità di ciascun materiale ( $\mu_\epsilon$ ), requisiti che è necessario assicurare per conseguire un comportamento globalmente dissipativo della struttura e scongiurare il pericolo di collassi fragili (figura 2.2).

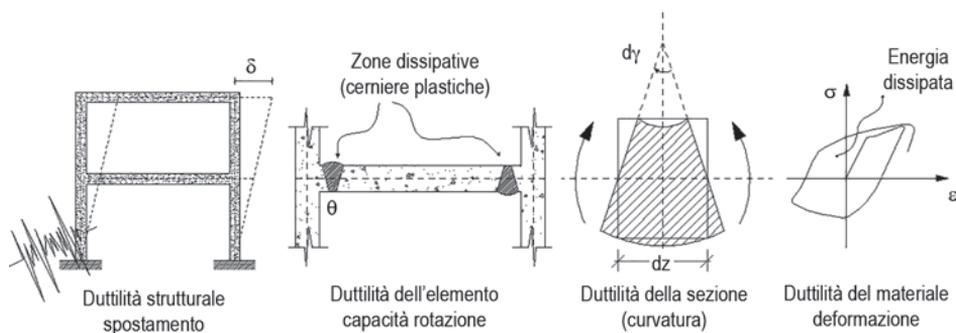


Figura 2.1. Diversi livelli di duttilità (struttura, elemento, sezione, materiale)

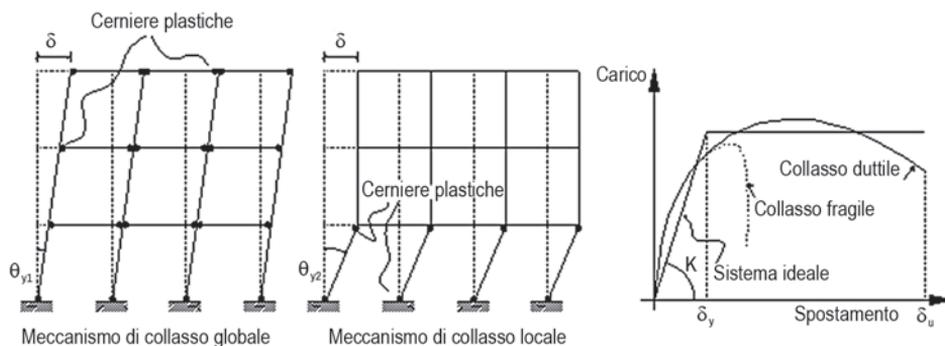


Figura 2.2. Meccanismi di collasso globali e locali per una struttura a telaio in c.a.

Il comportamento globalmente duttile degli edifici di nuova progettazione non è, in genere, riscontrabile negli edifici esistenti; l'osservazione e lo studio dei danni conseguenti a eventi sismici recenti ha evidenziato, infatti, carenze ricorrenti negli edifici esistenti con struttura in c.a., dovute essenzialmente ai criteri di progettazione utilizzati, privi di particolari accorgimenti antisismici, e alle modalità di realizzazione e di esecuzione, soprattutto per quanto riguarda la cura nei dettagli costruttivi e le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati.

Per ragioni legate alla zonazione sismica italiana, infatti, gli edifici con struttura a telaio in c.a. erano progettati per resistere, sostanzialmente fino agli anni '70, ai soli carichi verticali; in ragione di ciò, invece di conseguire un sistema strutturale a "travi deboli – pilastri forti", tipico della progettazione in capacità, si sono realizzate strutture a "travi forti – pilastri deboli", con conseguenze talvolta disastrose, come diversi eventi sismici hanno dimostrato nel corso degli anni.

L'Italia è, ad oggi, uno dei paesi europei caratterizzato dal maggior livello di vulnerabilità sismica, intendendo con tale termine e secondo la definizione fornita dal Dipartimento di Protezione Civile *la propensione di una struttura a subire un danno di un determinato livello a fronte di un evento sismico di una data intensità*.

L'elevata vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio esistente è in parte legata all'assenza, almeno fino ai primi anni '80, di un'efficace valutazione dell'effettiva pericolosità sismica del territorio nazionale, in parte alla mancanza di specifici codici normativi in grado di portare alla realizzazione di fabbricati capaci di sopportare un livello di azione orizzontale commisurato alla reale pericolosità sismica.

A riprova di ciò è utile riferirsi al Regio Decreto-Legge 22 novembre 1937 n. 2105 (*Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti*), una delle prime normative nazionali significative in materia di costruzioni in zona sismica. Esso individuava due possibili zone a intensità decrescente dell'azione sismica (zona sismica di 1° categoria e di 2° categoria) e, di conseguenza, attribuiva ad una delle due categorie il territorio dei comuni ritenuti sismici in forza di un'analisi dei danni conseguenti a terremoti avvenuti in passato, costituendo così un elenco

di comuni ritenuti sismici da aggiornare progressivamente per includere nuove aree colpite da eventi sismici successivi (figura 2.3a).

Per ciascuna categoria il R.D. 2105/1937 forniva specifiche prescrizioni in merito alle caratteristiche geometriche, dimensionali (numero e altezza massima dei piani) e di esecuzione dei fabbricati, precisando inoltre l'entità delle azioni da impiegare per il dimensionamento degli elementi strutturali. In particolare, oltre al peso proprio degli elementi strutturali e non strutturali e ai carichi accidentali, le azioni legate al sisma erano valutate come aliquota dei carichi verticali, in accordo con quanto di seguito riportato.

#### EDIFICI IN ZONA SISMICA DI 1° CATEGORIA

Per tenere conto dell'accelerazione sismica dipendente dal moto sussultorio si applicavano carichi verticali ottenuti incrementando del 40% la somma del peso proprio e di 1/3 del sovraccarico accidentale.

Per tenere conto dell'accelerazione sismica dipendente dal moto ondulatorio si applicavano, in corrispondenza delle masse delle varie parti dell'edificio, forze orizzontali (agenti secondo due direzioni ortogonali ed in entrambi i versi) aventi intensità pari al 10% dei pesi delle masse considerate, qualunque fosse l'altezza e il numero di piani dell'edificio.

#### EDIFICI IN ZONA SISMICA DI 2° CATEGORIA

Per tenere conto dell'accelerazione sismica dipendente dal moto sussultorio si applicavano carichi verticali ottenuti incrementando del 25% la somma del peso proprio e di 1/3 del sovraccarico accidentale.

Per tenere conto dell'accelerazione sismica dipendente dal moto ondulatorio si applicavano, in corrispondenza delle masse delle varie parti dell'edificio, forze orizzontali (agenti secondo due direzioni ortogonali ed in entrambi i versi) aventi intensità pari al 5% dei pesi delle masse considerate, qualunque fosse l'altezza e il numero di piani dell'edificio.

La metodologia progettuale sopra descritta ha portato alla realizzazione di edifici frequentemente caratterizzati da dettagli costruttivi carenti, anche se localizzati nelle zone sismiche, ossia in zone nelle quali si prevedevano specifiche accortezze nei confronti delle azioni sismiche.

Con la legge 2 febbraio 1974 n. 64 (*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*) e il successivo D.M. 03/03/1975 (*Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*) furono introdotte alcune ulteriori precisazioni per il calcolo delle strutture in zona sismica: gli effetti dell'azione sismica venivano valutati effettuando un'analisi statica con due sistemi di forze applicate, uno orizzontale parallelo alla direzione prevista per il sisma (eq. 2.1) e

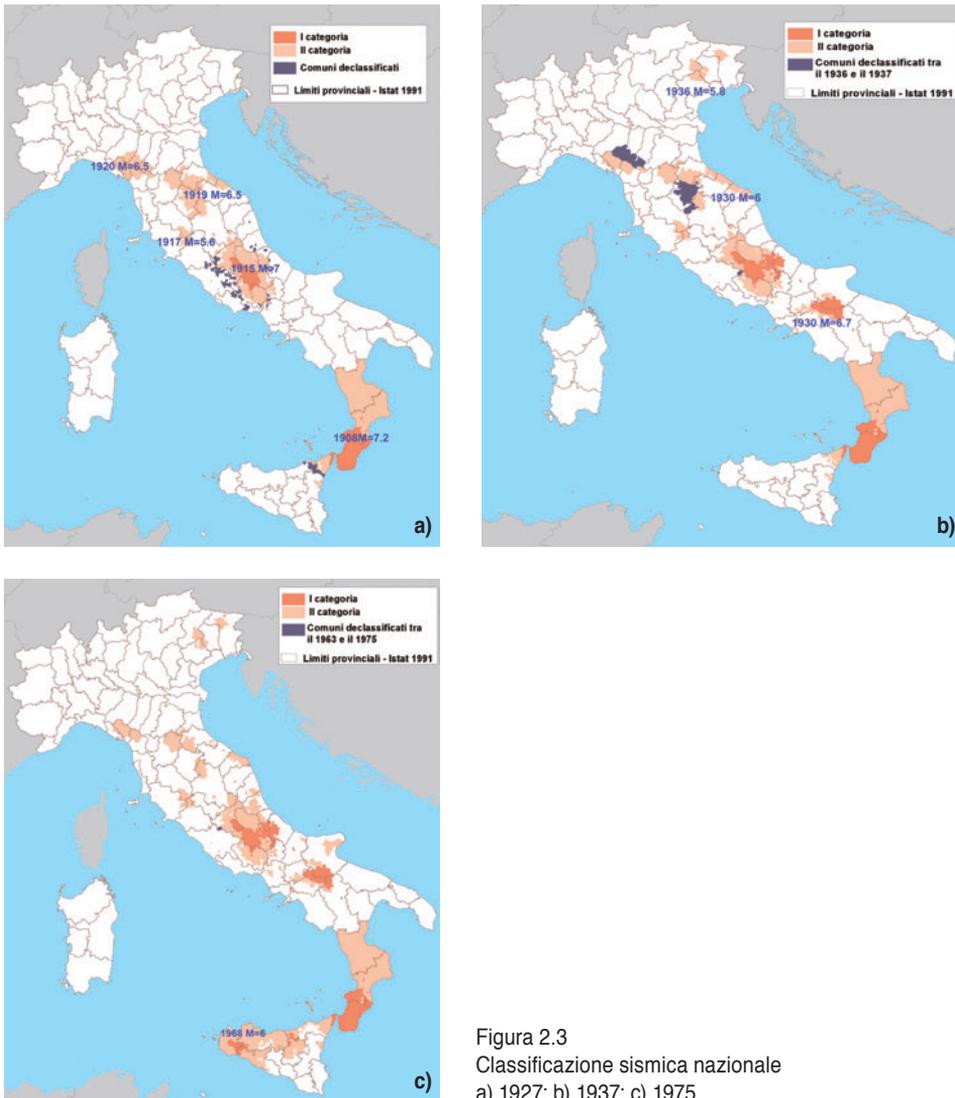


Figura 2.3  
Classificazione sismica nazionale  
a) 1927; b) 1937; c) 1975

uno verticale (eq. 2.2), entrambi proporzionali alle masse coinvolte, opportunamente corretti mediante l'applicazione di appositi coefficienti:

$$F_h = C \cdot R \cdot W \tag{2.1}$$

$$F_v = m \cdot C \cdot W^2 \tag{2.2}$$

<sup>2</sup>  $C$  è un coefficiente legato alla sismicità del sito su cui sorge la costruzione d'interesse,  $W$  è il peso complessivo della costruzione,  $R$  è il coefficiente di risposta per la direzione considerata e  $m$  è un coefficiente generalmente pari a 2.

L'analisi statica poteva essere impiegata solo per strutture con schema statico a telaio e prive di criticità (quali elementi spingenti o luci notevoli); le prescrizioni fornite si limitavano ai soli edifici inseriti nelle zone classificate come sismiche (figura 2.3c). Nel 1984, in seguito ai terremoti del Friuli (1976) e dell'Irpinia (1980), altri comuni furono inseriti nella classificazione sismica che arrivò a coprire buona parte del territorio nazionale, con una divisione delle zone sismiche in tre diverse categorie a livelli di pericolosità decrescenti (figura 2.4a).

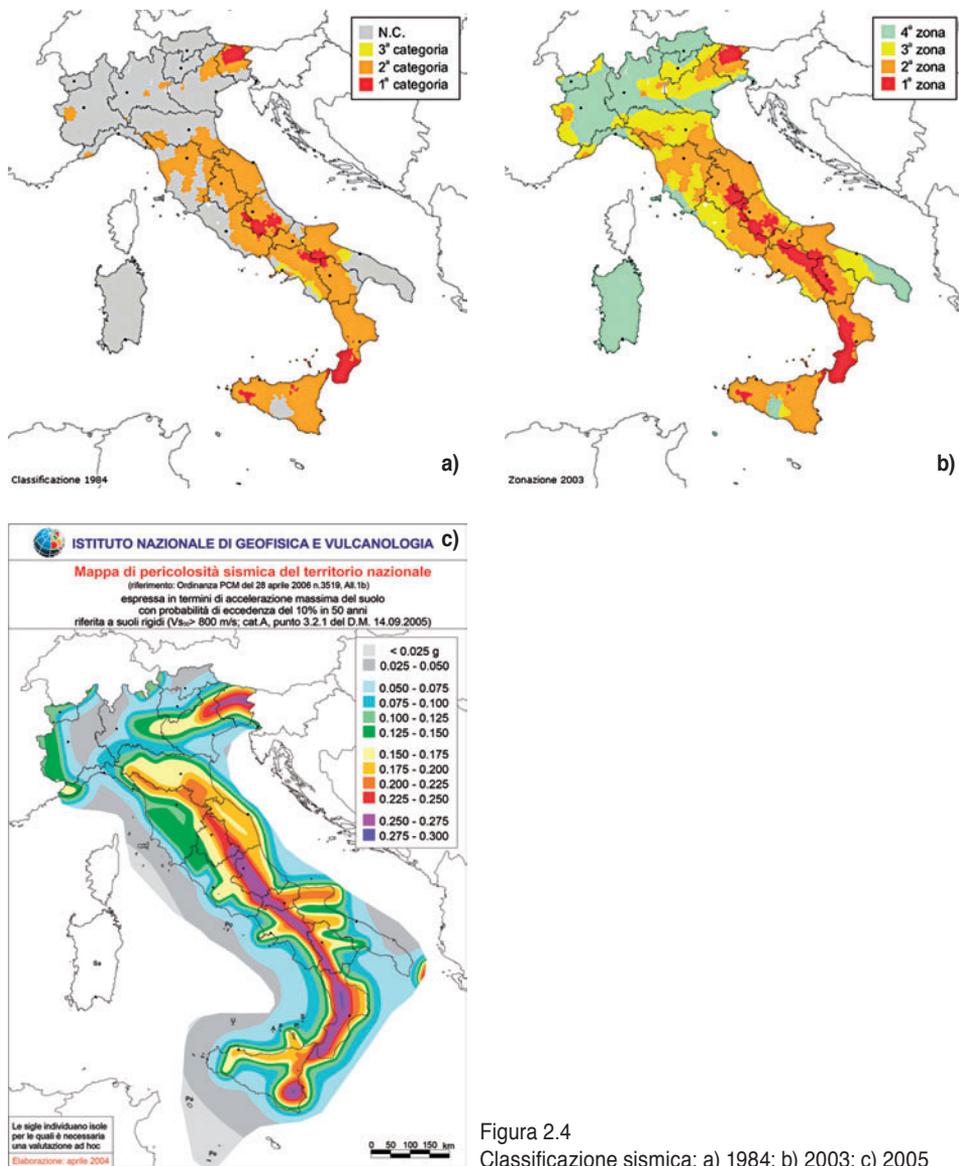


Figura 2.4  
 Classificazione sismica: a) 1984; b) 2003; c) 2005

Con l'entrata in vigore delle successive normative tecniche (tra cui, le più recenti, OPCM 3274/2003 e OPCM 3431/2005) e, soprattutto, delle attuali **NTC08**, tutto il territorio italiano è stato riconosciuto sismico, introducendo per qualsiasi sito di costruzione l'obbligo della quantizzazione e della presa in conto dell'azione sismica di progetto. È evidente come la maggior parte del patrimonio edilizio italiano oggi impiegato per ospitare scuole, municipi, palestre ed altri luoghi a medio-alto indice di affollamento, in quanto costituito da edifici realizzati a seguito dello sviluppo economico che interessò l'Italia degli anni '60, sia stato progettato senza rispettare opportuni criteri antisismici. In particolare la necessità di valutare la sicurezza nei confronti delle azioni sismiche di edifici con struttura a telaio in c.a., anche di realizzazione ben più recente, è stata chiaramente evidenziata dagli esiti dei recenti eventi sismici nell'Aquilano (2009, figura 2.5) e in Emilia Romagna (2012).

## 2.2. Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti

L'esame degli effetti del sisma sulle costruzioni ha, da sempre, contribuito a consolidare la conoscenza sulle principali cause di vulnerabilità sismica degli edifici realizzati con le tecniche costruttive diffuse sul territorio nazionale (cemento armato, muratura, acciaio, legno).

In particolare, l'individuazione delle carenze strutturali che determinano un significativo danneggiamento per cause sismiche costituisce un passaggio essenziale per scegliere poi, consapevolmente, la tecnica di intervento più efficace.

Nell'ambito degli edifici esistenti con struttura a telaio in c.a., tecnica costruttiva privilegiata dall'edilizia nazionale negli ultimi sessant'anni, le cause di vulnerabilità sismica più diffuse sono state chiaramente individuate e sono in generale costituite da errori nell'impostazione progettuale e/o nella fase realizzativa, che possono determinare la necessità di intervenire (figura 2.5).



Figura 2.5. L'Aquila, terremoto 6 aprile 2009 – a) edificio di civile abitazione: danneggiamento del nodo trave-pilastro e degli elementi non strutturali; b) edificio scolastico: danneggiamento del pilastro e degli elementi non strutturali

**Tabella 2.2. Tipologia strutturale a pareti**

<b>Insufficiente resistenza globale</b>	Pareti in una sola direzione Scarsa resistenza a taglio nel piano delle pareti Insufficiente capacità flessionale delle pareti Insufficiente resistenza delle travi di accoppiamento
<b>Insufficiente rigidezza globale</b>	Pareti in una sola direzione Eccessivi spostamenti interpiano ( <i>drift</i> ) che determinano contemporaneamente richieste inaccettabili di resistenza e di capacità deformativa
<b>Configurazione strutturale irregolare</b>	Pareti in una sola direzione Pareti discontinue Piano debole Irregolarità in pianta che determinano effetti di amplificazione torsionale
<b>Interruzioni nel percorso dei carichi</b>	Pareti in una sola direzione Mancanza di elementi di connessione
<b>Dettagli costruttivi insoddisfacenti</b>	Scarsa attenzione al comportamento fuori piano delle pareti Inadeguata armatura a taglio
<b>Diaframmi di piano di resistenza e/o rigidezza insufficienti</b>	Inadeguata capacità a taglio nel piano Inadeguato trasferimento del taglio alle pareti Sforzi eccessivi in corrispondenza delle aperture e delle irregolarità architettoniche Inadeguata capacità dei cordoli di piano

**Tabella 2.3. Tipologia strutturale mista**

<b>Insufficiente resistenza globale</b>	Scarsa resistenza nel piano a taglio Insufficiente capacità flessionale Insufficiente capacità delle travi di accoppiamento
<b>Insufficiente rigidezza globale</b>	Eccessivi spostamenti interpiano ( <i>drift</i> )
<b>Configurazione strutturale irregolare</b>	Pareti discontinue Piano debole Irregolarità in pianta che determinano effetti di amplificazione torsionale
<b>Interruzioni nel percorso dei carichi</b>	Mancanza di elementi di connessione Pareti discontinue
<b>Dettagli costruttivi insoddisfacenti</b>	Scarsa attenzione al comportamento fuori del piano della parete Inadeguata armatura a taglio Ridotta capacità di spostamento dei pilastri
<b>Diaframmi di piano di resistenza e/o rigidezza insufficienti</b>	Inadeguata capacità a taglio nel piano Sforzi eccessivi in corrispondenza delle aperture e delle irregolarità Inadeguata capacità dei cordoli di piano

**Tabella 2.4. Tipologia strutturale a telai tamponati**

<b>Insufficiente resistenza globale</b>	Sviluppo inadeguato delle pareti esterne Aperture eccessive nelle tamponature Pilastri insufficienti per la resistenza al ribaltamento Muratura debole o deteriorata
<b>Insufficiente rigidezza globale</b>	Come per la resistenza ma sul versante rigidezza

<b>Configurazione strutturale irregolare</b>	Piano debole Effetti di amplificazione torsionale (pareti piene e pareti con molte aperture) Irregolarità in pianta
<b>Interruzioni nel percorso dei carichi</b>	Mancanza di ancoraggio della tamponatura Connessione inadeguata delle finiture Assenza di connettori
<b>Dettagli costruttivi insoddisfacenti</b>	Assenza di armatura a trazione Scarsa attenzione ai nodi strutturali (sollecitazioni di tipo puntone-tirante) Riempimento insufficiente del nodo tra muratura e componenti in acciaio
<b>Diagrammi di piano di resistenza e/o rigidità insufficienti</b>	Assenza della connessione della soletta di piano con le pareti esterne

Nelle tabelle precedenti, per ogni tipologia strutturale, si sono riportate le più frequenti carenze strutturali, riconducendole alle cause di vulnerabilità precedentemente introdotte<sup>5</sup>.

Premesso che il medesimo intervento, volto a eliminare una o più cause di vulnerabilità sismica, è diversamente efficace al variare della tipologia strutturale cui è applicato, si segnala che la tipologia strutturale che meglio si presta all'inserimento di controventi dissipativi è senz'altro quella a telai ovvero quella mista, telai-pareti. Negli altri casi, infatti, potrebbe essere difficile conseguire una rigidità dei controventi sufficientemente elevata o trovare una configurazione geometrica adatta al loro inserimento, in modo tale che possano essere effettivamente di aiuto alla struttura in caso di sisma.

Si sottolinea, infine, che l'inserimento dei controventi, per poter garantire la necessaria resistenza e/o rigidità degli elementi strutturali esistenti nonché delle strutture di fondazione deve, nella maggior parte dei casi, essere accompagnato anche da altre tipologie di intervento.

## 2.4. Prestazioni richieste: strategia progettuale

Investire nel recupero del patrimonio edilizio rappresenta uno dei modi più efficaci per ridurre il *rischio sismico* di un territorio, inteso come il livello di perdite umane, economiche e di danni alle costruzioni che si verificano nel territorio a seguito di un evento sismico di determinata entità.

D'altra parte la definizione delle caratteristiche degli interventi di recupero non è operazione immediata, in quanto il progettista deve contemporaneamente rispettare le richieste della normativa vigente e quelle della committenza, che non sempre sono finalizzate al raggiungimento degli stessi obiettivi. In particolare le esigenze della committenza, che spesso riguardano aspetti architettonici ed economici, devono

<sup>5</sup> Per approfondimenti su questo tema è possibile consultare la FEMA 547.

è l'individuazione dei diversi corpi di fabbrica presenti in uno stesso complesso, situazione comune soprattutto nel caso di edifici che abbiano subito, nel corso della loro vita, ampliamenti e modifiche planimetriche (figura 3.3). È infatti fondamentale segnalare la presenza di giunti strutturali e rilevare accuratamente la loro ampiezza, al fine di individuare, in sede di analisi, eventuali fenomeni potenziali di martellamento tra blocchi adiacenti, ma strutturalmente indipendenti.

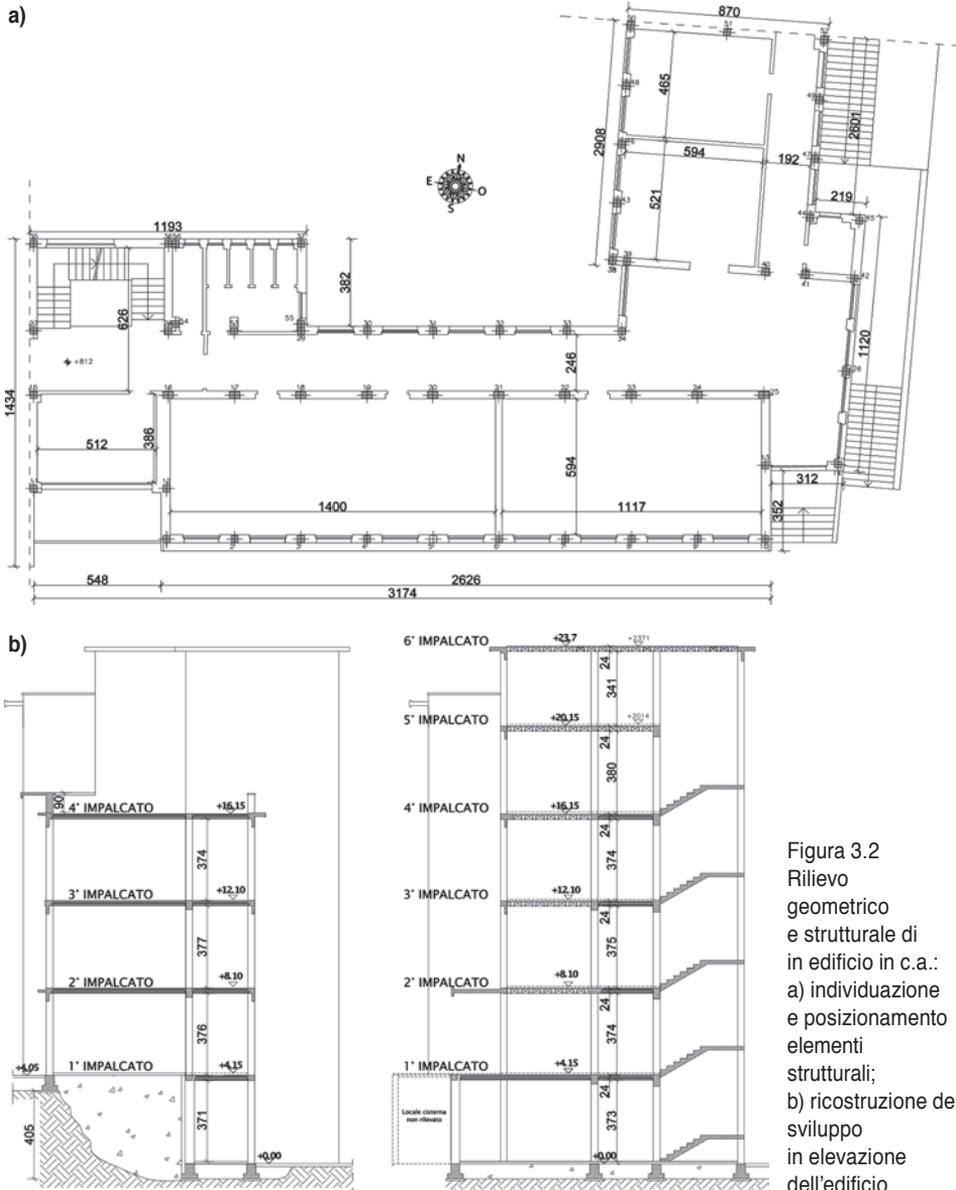


Figura 3.2  
Rilievo geometrico e strutturale di in edificio in c.a.:  
a) individuazione e posizionamento elementi strutturali;  
b) ricostruzione dello sviluppo in elevazione dell'edificio

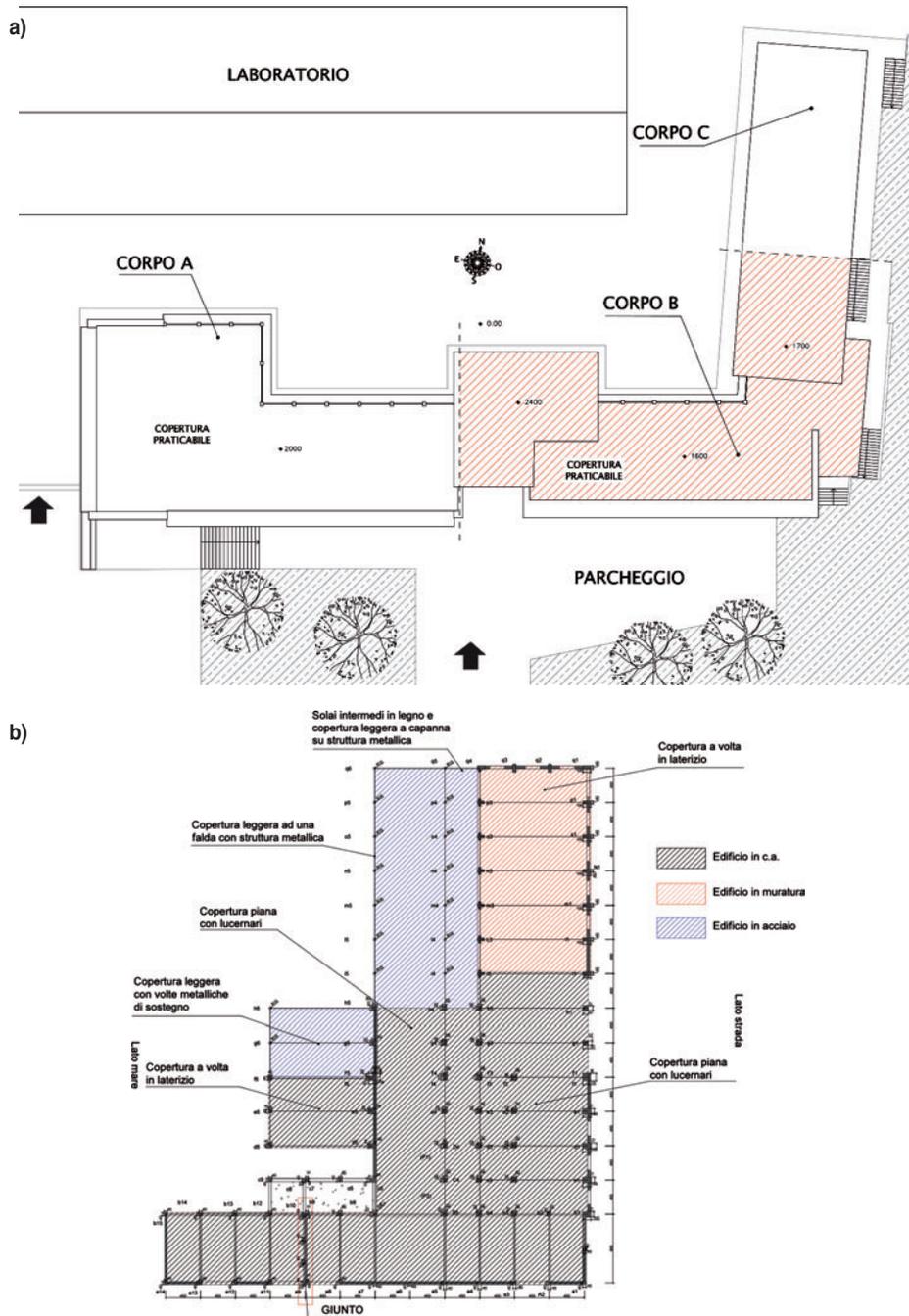


Figura 3.3. Individuazione di giunti tecnici e strutturali fra edifici adiacenti: a) complesso scolastico IPISIA Pacinotti, Bagnone (MS); b) edificio cloro liquido presso stabilimento Solvay di Rosignano Marittimo (LI)

