

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA



Dottorato di ricerca in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei

XXVI CICLO

ICAR/09

Studio di dispositivi in acciaio per il miglioramento sismico di edifici in c.a.

Dottorando: **Guido Bregoli**

Relatori:

Prof. Giovanni A. Plizzari, Dott. Ing. Giovanni Metelli

Correlatori:

Prof. Francesco Genna

Coordinatore del dottorato:

Prof. Giovanni A. Plizzari

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

Dottorato di ricerca in Recupero di Edifici Storici e Contemporanei

XXVI ciclo

UNIVERSITY OF BRESCIA

PhD Program in "Structural Rehabilitation of Historical and Modern Buildings"

XXVI cycle

Prof. Giovanni Plizzari (Coordinator)

PhD defense: 15 April 2014

Dissertation defense board members:

Prof. G. Balázs, Budapest University of Technology and Economics, Hungary

Prof. M.R. Pecce, Università degli Studi del Sannio

Prof. F. da Porto, Università degli Studi di Padova

Author: Guido Bregoli

Title: Studio di dispositivi in acciaio per il miglioramento sismico di edifici in c.a.

All rights reserved

© 2014 *Guido Bregoli*

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted, in any form or by any means, without the prior written permission of the Editors.

SINOSSI

I recenti eventi sismici che hanno interessato il suolo italiano, hanno messo in luce le diffuse criticità e le vulnerabilità del nostro patrimonio costruito. Negli ultimi anni si sta diffondendo sempre più la consapevolezza che un intervento capillare per mettere in sicurezza e per salvaguardare il tessuto edilizio, non possa essere ulteriormente rimandato. Per tale ragione lo studio di dispositivi antisismici da applicare agli edifici esistenti progettati per i soli carichi statici, risulta un tema centrale nell'ambito del miglioramento sismico.

SOMMARIO

Il rinforzo strutturale degli edifici esistenti nei confronti dell'azione sismica è diventato negli anni recenti un'esigenza sempre più concreta. La presenza diffusa nel tessuto urbano, di edifici in cemento armato costruiti nel dopoguerra e come tali pensati per resistere alle sole azioni verticali, rende necessaria la messa a punto di un efficace sistema di intervento che permetta la riduzione e, dove è possibile l'annullamento, della vulnerabilità sismica di tali costruzioni. Il presente lavoro di ricerca mira allo studio e alla messa in opera di semplici dispositivi in acciaio di rinforzo che riducano le criticità presenti in gran parte degli edifici esistenti per effetto di una limitata conoscenza del problema sismico. In particolare sono state approfondite due tipologie di controventi, adatte al miglioramento sismico di strutture site rispettivamente in zone a bassa e ad alta sismicità. Si è proceduto in primo luogo attraverso sia prove sperimentali che mediante modelli numerici, allo studio e alla comprensione del reale comportamento dissipativo di controventi concentrici ad X, detti a croce di St. Andrea, caratterizzati da cicli d'isteresi affetti da un marcato effetto pinching e come tali scarsamente dissipativi.

I risultati sperimentali confermano l'efficacia del vincolo inferiore imposto dalle normative sulla snellezza degli elementi di controvento ($\bar{\lambda} \geq 1.3$), per evitare una sovra-sollecitazione a taglio degli elementi non dissipativi durante i primi cicli. Pertanto la necessità di rispettare le prescrizioni sulla snellezza adimensionale, implica l'esigenza di una valutazione realistica delle lunghezze di libera inflessione, contrariamente alla pratica progettuale usuale che considera a favore di sicurezza una stima per eccesso della snellezza. Per tale motivo, si impone la necessità di adottare per le diagonali sezioni con raggi giratori molto piccoli, tali da consigliare l'impiego di semplici piatti, che vanno posati con il lato maggiore in direzione perpendicolare al controvento, per evitare facilmente l'instabilità fuori piano.

Successivamente il lavoro si è concentrato su controventi detti ad instabilità impedita realizzati interamente in acciaio (BRB all-steel) che, in quanto tali, superano le intrinseche limitazioni relative ai più comuni controventi a X, fornendo un alto livello di dissipazione isteretica. I BRB sono composti da un'anima metallica libera di scorrere all'interno di una struttura di ritegno sufficientemente rigida da inibirne l'instabilità, permettendo in tal modo un comportamento stabile dei BRB anche quando soggetti a compressione.

In particolare lo studio mira a comprendere e a stimare le spinte trasversali che il guscio di contrasto deve incassare per effetto dell'instabilità elasto-plastica dell'anima dissipativa. Nonostante nell'ambito della corretta progettazione di un controvento ad instabilità impedita tale aspetto possa sembrare marginale, l'entità di tali spinte è risultata tanto elevata da poter portare a rottura i bulloni che collegano il guscio di confinamento, con valori che possono raggiungere e superare la forza di snervamento del piatto d'anima.

Attraverso lo svolgimento di un'ampia campagna sperimentale e con l'ausilio di sofisticate analisi agli elementi finiti in tre dimensioni è stato infine validato un modello analitico in grado di stimare con buona approssimazione sia la lunghezza d'onda esibita dall'anima instabilizzata sia quindi le spinte esercitate dall'elemento dissipativo (core) sul guscio di contrasto. Le informazioni ricavate da tale modello hanno permesso di mettere a punto una formula di progetto che permette il dimensionamento del passo e della grandezza della bullonatura.

E' stato quindi preso ad esempio un edificio in cemento armato privo di qualsiasi dettaglio sismico, rappresentativo di una tipologia costruttiva ricorrente e ampiamente diffusa nel nostro territorio, ed è stato quindi progettato un intervento di rinforzo pensato con entrambe le soluzioni precedentemente presentate.

SUMMARY

The structural retrofitting of existing buildings against seismic actions has become, in recent years, a need of great importance.

The widespread presence in the urban fabric of reinforced concrete buildings built after the second world war (designed only for static loads), requires the development of a effectiveness system of intervention that allows the reduction and, where is possible the annulment, of the seismic vulnerability of such buildings.

The present work aims at study simple steel devices, able to enhance the structural behavior of existing buildings. In particular two types of bracings (suited to the improvement of seismic response of buildings, located respectively in low and high seismic area) were investigated.

First, through both experimental and numerical analysis, the slenderness and cyclic behavior of the diagonal members in frames with concentric bracings was investigated. Indeed, due to the fact that hysteretic response of X braced frames is affected by a remarkable pinching effect, their dissipation capability is limited.

The results of full scale tests (designed to study concentrically braced frames with plates as diagonal members) confirm the effectiveness of the provisions imposed by Eurocode 8 and Italian Standards about the non-dimensional slenderness of the diagonal members, that should be lower than an upper limit ($\bar{\lambda} \leq 2$), in order to provide sufficient hysteretic energy dissipation and greater than a lower limit ($\bar{\lambda} \geq 1.3$), to avoid overloading columns in the pre-buckling stage. For this reasons, in order to fulfill the code restrictions, it is necessary a realistic evaluation of diagonal member slenderness, contrary to the usual design approach that, for safety reasons, tends to overestimate the free length factor of the diagonal members.

It is therefore necessary to adopt, for the diagonal members, cross section with values of radius of gyration very small, so recommending the use of plates. The largest side of the cross section has to be installed in perpendicular direction in respect of the braced frame, in order to avoid the out of plane buckling.

Afterward, the research has focused on "all-steel" buckling restrained braces (BRBs). They are realized entirely with steel elements and they overcome the drawbacks of the most common X bracing system, furnishing an high dissipation capability.

The BRBs are made by a steel core that can slide inside a restraining case, rigid enough to avoid the buckling of the internal core, so as to provide a symmetric hysteretic behavior both in compression and in tension.

In particular the study aims at investigate the lateral thrust exerted by the inner core of a buckling restrained brace when, after buckling in compression, it arrives into contact with the external restraining case.

Despite this detail may be considered as marginal from the correct design point of view, the importance of the lateral thrust can be so high to cause the tensile failure of the bolts that connect the restraining case. As an example, the total thrust can reach and even exceed the nominal yielding force of the core plate.

The results of the experimental tests and of non-linear 3D finite element analysis performed with ABAQUS code, allowed to validate a theoretical model able to reasonably predict the cyclic behavior of the tested BRBs in term of axial load, buckled shape of the core and lateral thrust action.

Thanks to this theoretical model it was possible to develop a design formula to plan the dimension and the spacing of the bolts.

Finally, a reinforced concrete building, lacking of any seismic details and representative of a common housing scheme (widespread in suburban areas), was retrofitted by means of aforementioned two different bracing systems.