

PREMESSA

La tematica della preservazione del patrimonio storico-artistico delle costruzioni esistenti ha un'importanza crescente soprattutto nei paesi come l'Italia, ricchi di costruzioni da tutelare. A questa categoria di edifici appartiene anche la categoria dei fabbricati classificati come archeologia industriale [1]. Nella maggior parte dei casi questi edifici sono stati progettati considerando esclusivamente azioni statiche, quindi non hanno sufficiente resistenza e duttilità per sopportare le azioni sismiche.

In questo lavoro di tesi viene studiato l'impiego di una tecnica innovativa per adeguare sismicamente un edificio a telaio in calcestruzzo armato classificato come archeologia industriale e per questo soggetto a tutela storico artistica. Il metodo adottato si basa sull'impiego dei controventi eccentrici ad "Y" in acciaio.

ADEGUAMENTO SISMICO MEDIANTE CONTROVENTI ECCENTRICI

La tipologia di controvento che meglio si adatta all'inserimento nei telai in calcestruzzo armato esistenti è quella ad "Y", in quanto, a differenza di altre possibili tipologie (K, V, ecc.), non richiede alle travi esistenti in c.a. la funzione di elemento dissipativo [2] (figura 1).

Il controvento ad "Y" è realizzato da due diagonali che convergono all'estremo inferiore di un elemento verticale chiamato "link", realizzato con profilo a doppio T in acciaio opportunamente irrigidito, che ha la funzione di

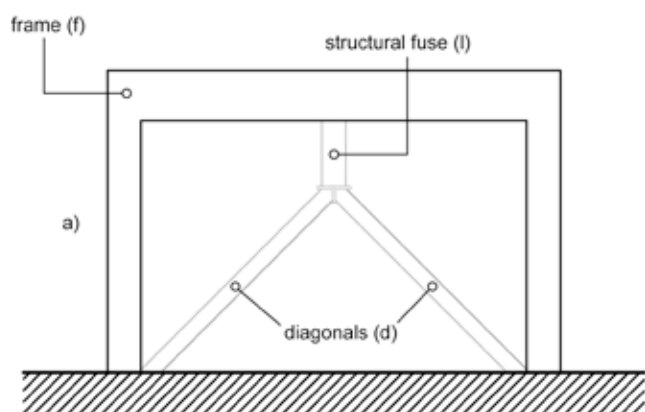


Fig. 1 - Schema dei controventi eccentrici ad "Y" [3]

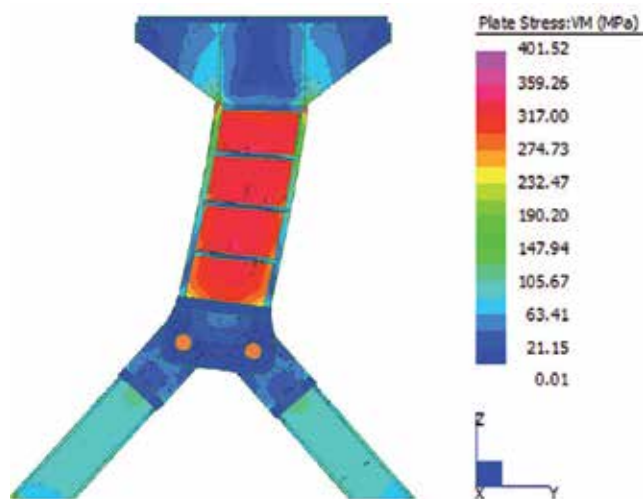


Fig. 2 - Contour dello stato tensionale nell'elemento dissipativo [3]

Adeguamento sismico di un edificio industriale e di interesse storico-artistico mediante controventi eccentrici a "Y"

Alessandro Doglio

elemento dissipativo (figura 2).

La lunghezza di quest'ultimo ne determina il funzionamento anelastico: "link" lungo con comportamento anelastico a flessione, "link" corto con comportamento anelastico a taglio.

Per l'applicazione nell'adeguamento sismico si utilizzano "links" corti con lo scopo di garantire una elevata rigidezza del controvento, che è fra i requisiti necessari per la sua efficacia nel funzionamento in parallelo con la struttura esistente in calcestruzzo armato. Inoltre la sollecitazione di taglio costante garantisce una plasticizzazione diffusa in tutto l'elemento, favorita dall'assenza di sforzo normale che garantisce cicli di dissipazione isteretica ampi e stabili.

METODO DI DIMENSIONAMENTO

La progettazione dell'adeguamento sismico dell'edificio mediante controventi eccentrici ad "Y" è stata effettuata con il metodo proposto da L. De Stefani, M. Lazzari e R. Scotta [4].

Le membrature in c.a. dei telai esistenti non progettati per le azioni sismiche sono scarsamente confinate (ridotto numero di staffe) ed i meccanismi di rottura "fragili" si manifestano anticipatamente rispetto a quelli "duttili". Il fattore di struttura di progetto q diventa quindi un parametro determinante nel dimensionamento. Si ricorda che la geometria del controvento introdotto è vincolata dalle caratteristiche inerziali e di resistenza delle membrature del telaio in c.a. Al crescere del fattore di struttura i controventi introdotti nella struttura sono sempre più flessibili poiché sono dimensionati per forze sempre più piccole. Il fattore di struttura non deve essere troppo elevato altrimenti le verifiche dei meccanismi "fragili" del telaio in calcestruzzo potrebbero non essere soddisfatte. Al contrario, non deve essere neppure troppo piccolo altrimenti si determina un numero elevato di controventi aumentando notevolmente i costi e l'invasività dell'intervento.

DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO ESISTENTE

L'edificio test considerato per l'applicazione dell'adeguamento sismico è un ex deposito militare che risale ai primi anni del '900 di proprietà della Soprintendenza per i beni archeologici del Veneto. La struttura è costituita



Fig. 3 - Ex deposito militare a Pontevigodarzere

da elementi in calcestruzzo armato gettati in opera ed ha una dimensione in pianta di circa 33 x 31 m, per un totale di circa 1000 m² (figura 3). Il corpo di fabbrica si compone dell'unione di due capannoni a doppia falda con una zona interna a doppia altezza realizzata con un sopralco. Lo schema strutturale è costituito da un insieme di telai in calcestruzzo armato posti in parallelo nelle due direzioni ortogonali. Non essendo disponibili i documenti originali di progetto, sono stati utilizzati i dati dell'edificio messi a disposizione da LAIRA Srl [5] [6]. I dati impiegati derivano da una campagna di indagini in sito dell'intero corpo di fabbrica per determinare la geometria strutturale, l'armatura presente nelle membrature, le caratteristiche dei materiali e il loro stato di degrado. La campagna di indagini condotta ha evidenziato un elevato degrado della struttura dovuto all'effetto della carbonatazione, che ha portato alla corrosione delle armature con conseguente espulsione del copriferro. Per ripristinare un adeguato livello di sicurezza nella struttura è stato progettato un intervento di recupero strutturale del quale si è tenuto conto nelle analisi effettuate.

ANALISI SVOLTE

E MODELLI FEM ADOTTATI

Il modello FEM della struttura è tridimensionale in maniera tale da poter valutare il comportamento globale dell'edificio. Gli effetti della non linearità per materiale sono considerati assegnando agli elementi trave e pilastro delle cerniere plastiche tramite una modellazione a fibre della sezione. I legami sforzi-deformazione adottati sono quello di Kent e Park per il calcestruzzo e quello di Menegotto-Pinto per le barre di armatura. La modellazione dei "links" è stata effettuata mediante cerniere a taglio concentrate, elasto-plastiche inelastiche e bi-lineari, con scarico lineare e comportamento cinematico. Nella fase di progettazione dei controventi sono state svolte analisi dinamiche modali, mentre nella fase di verifica sono state condotte analisi non lineari statiche e dinamiche al passo.

RISULTATI

Si è ipotizzato di richiedere all'edificio oggetto di adeguamento la resistenza ad un sisma con piccolo di accelerazione al suolo pari a $PGA=0.40g$. Il progetto dell'adeguamento è stato effettuato con i fattori di struttura pari a 2, 3 e 4. Al decrescere del fattore di struttura q adottato, ovvero all'aumentare della forza di progetto, cresce anche il numero e la dimensione dei controventi introdotti (figura 4).

In direzione X, con $q=2, 3$ sono stati progettati 10 controventi mentre con $q=4$ ne sono stati progettati 8. I diagonalali hanno sezione HEB 300 per $q=2$ e HEB 240 per $q=3, 4$. I "links" hanno lunghezze di 700, 500, 500 mm e taglio plastico di 357, 226, 198 kN rispettivamente per $q=2, 3$ e 4.

In direzione Y, sono stati progettati 12 controventi con $q=2$ e 8 controventi con $q=3, 4$.

I diagonalali hanno sezione HEB 300 per $q=2, 3$ e HEB 260 per $q=4$. I "links" hanno lunghezze di 750, 700, 600 mm e taglio plastico di 383, 361, 262 kN rispettivamente per $q=2, 3$ e 4.

I risultati delle analisi non lineari hanno confermato i risultati dei dimensionamenti in campo lineare. In particolare si può notare una notevole riduzione degli spostamenti tra edificio esistente ed adeguato (figura 5).

Nella struttura esistente i pilastri dovrebbero entrare fortemente in campo plastico per resistere al sisma di progetto (figura 6). Infatti, nella struttura esistente l'energia introdotta dal sisma viene dissipata esclusivamente nei pilastri mentre nella struttura adeguata l'energia viene dissipata nei "links" (figura 7).

CONCLUSIONI

L'efficacia dei controventi eccentrici ad "Y" è condizionata dalle verifiche dei meccanismi "fragili" delle colonne del telaio in c.a. Nel caso in esame, anche progettando i controventi con $q=2$, è necessario prevedere un intervento locale di confinamento volto ad incrementare la resistenza a "taglio" dei pilastri, magari realizzato mediante fasciature con FRP, poiché la resistenza garantita dalla staffatura presente è assai limitata e di molto inferiore alla resistenza che ne consente la plasticizzazione a flessione. La soluzione ottimale in questo caso, vista la necessità di ricorrere comunque ad interventi di confinamento locale, potrebbe essere quella determinata dal progetto con $q=4$, che comporta il minor numero di controventi introdotti e consente in ogni caso

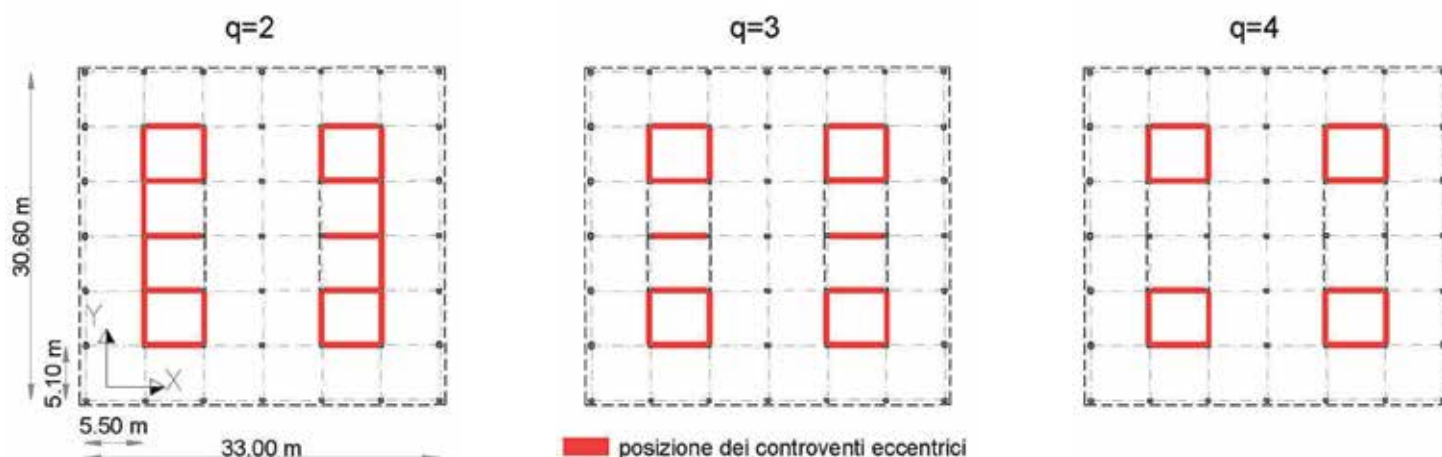


Fig. 4 - Posizione dei controventi eccentrici al variare del fattore di struttura di progetto

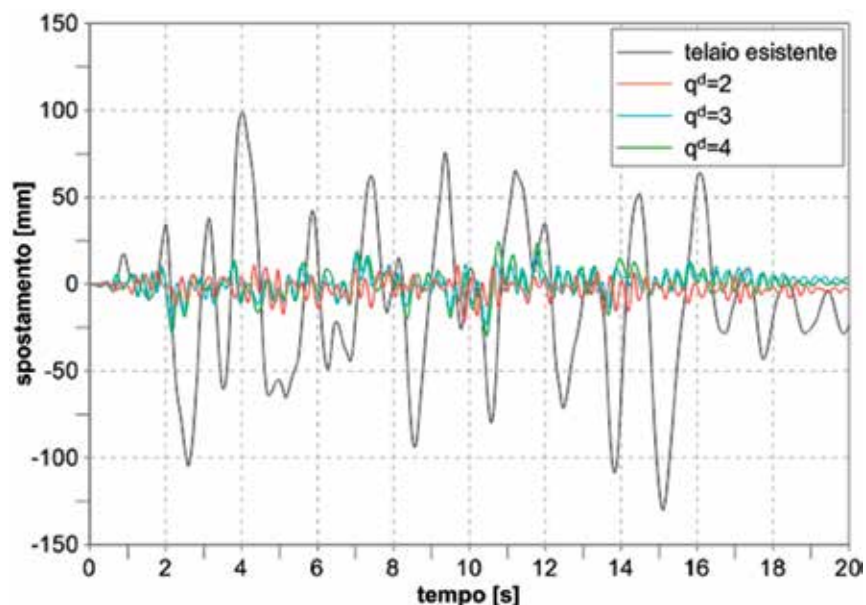


Fig. 5 - Diagramma spostamento-tempo in sommità all'edificio al variare di q

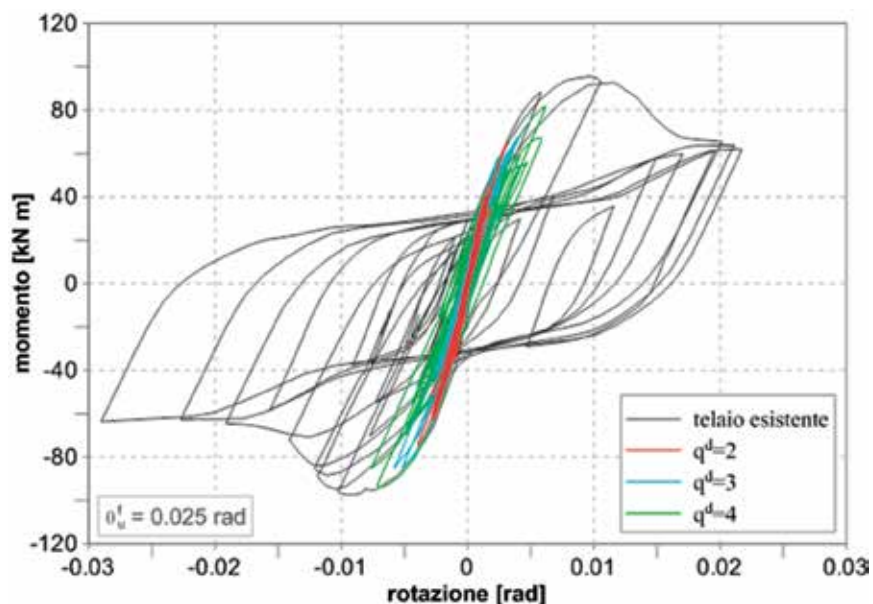


Fig. 6 - Diagramma momento-rotazione al variare di q

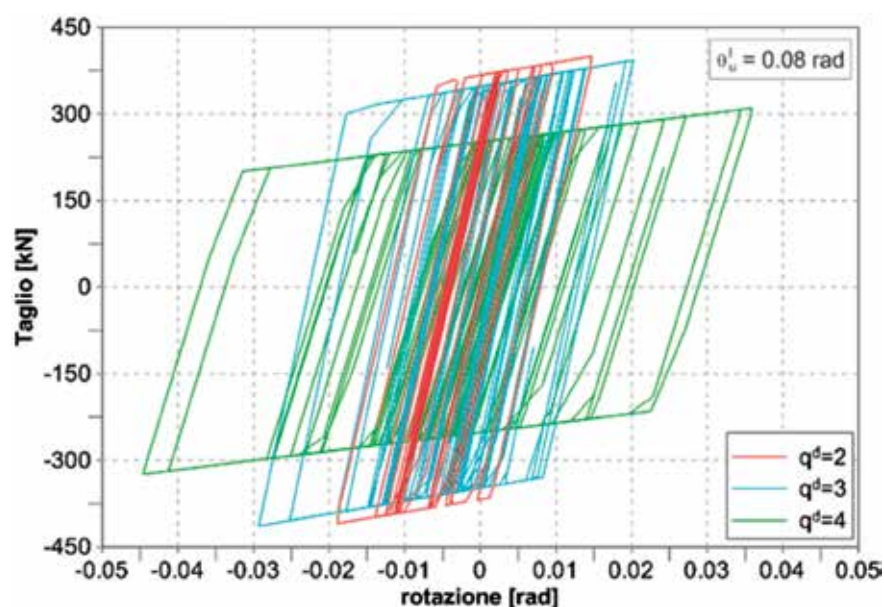


Fig. 7 - Diagramma taglio-rotazione dei "links" al variare di q

di limitare notevolmente gli spostamenti e l'entrata in campo plastico della struttura esistente. Infine, si vuole mettere in evidenza che l'intervento descritto è reversibile e distinguibile come contemplato dai criteri fondamentali del restauro.

dr. ing. Alessandro Doglio,

Tesi premiata nell'ambito del concorso "Premi per tesi di laurea ed. '11/'12" promosso da Accai (Associazione fra i Costruttori in Acciaio Italiani)/rivista "Costruzioni Metalliche", C.T.A. (Collegio dei Tecnici dell'Acciaio), Fondazione Ingegneri Padova. Relatore: **dr. Ing. Massimiliano Lazzari**^{1,2}

Correlatore: **dr. Ing. Lorenzo De Stefani**¹

¹ Università degli Studi di Padova,

Facoltà di Ingegneria

² Direttore Tecnico di LAIRA Srl

Bibliografia

- [1] R. Nelva, B. Signorelli, "Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique", Torino: AITEC, 1989.
- [2] E. Baccarella, M. D'Aniello, G. Della Corte, R. Landolfo e F. M. Mazzolani, "Steel eccentric braced in seismic upgrading of RC buildings by advanced techniques", The Ilva-Idem Research Project, 2006, p. 256-323.
- [3] L. De Stefani, "Tecniche innovative per il miglioramento sismico di edifici storico-monumentali". Tesi di dottorato in Scienze dell'Ingegneria Civile ed Ambientale. Università di Padova, 2012, <http://paduaresearch.cab.unipd.it/4714/>
- [4] L. De Stefani, M. Lazzari e R. Scotta, "Un nuovo metodo per la progettazione di controventi eccentrici a Y per l'adeguamento sismico di telai in cemento armato esistenti", in ANIDIS 2009 XIII Convegno, Bologna, 2009.
- [5] M. Lazzari – LAIRA Srl, "Analisi strutturale e dei materiali dell'area demaniale ex deposito veicoli militari a Pontevigodarzere", 2004.
- [6] A. Lazzari, S. Franceschi – LAIRA Srl, "Rilievi geometrici e dello stato di degrado dell'area demaniale ex deposito veicoli militari a Pontevigodarzere", 2004.