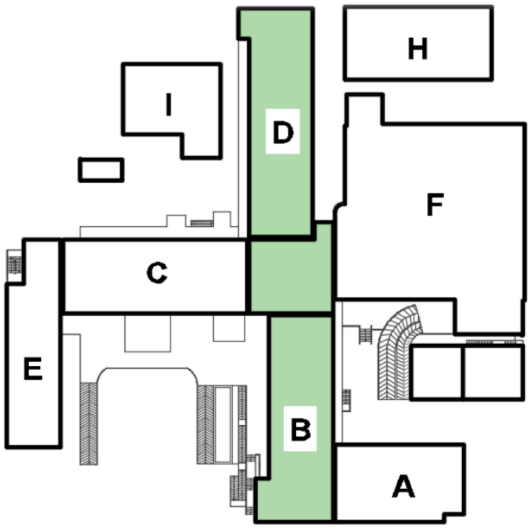
Analisi di vulnerabilità sismica di un edificio strategico adeguato con tecniche tradizionali e moderne eseguito con approccio BIM

Tesi magistrale in ingegneria civile di Nika Polinkina al Politecnico di Torino
Prof. Rosario Ceravolo - Politecnico di Torino
Ing. Andrea Alberto , Ph.D. Politecnico di Torino

Il caso studio della tesi magistrale di Nika Polinkina è costituito da due strutture a telaio in cemento armato, risalenti agli anni '60, per cui sono stati progettati cinque interventi di adeguamento sismico.



L'analisi si è svolta attraverso cinque fasi:

1. Indagini preliminari;
2. Analisi sismica della struttura pre-intervento;
3. Elaborazione degli interventi di adeguamento sismico;
4. Analisi sismica della struttura post-intervento;
5. Confronto tra vari interventi e conclusione.

Le indagini preliminari sono state suddivise in due parti, nella prima è stata svolta un'analisi storico-critica in cui sono stati indagati due archivi storici al fine di individuare correttamente le strutture portanti e le corrispondenti prestazioni. Nella seconda parte è stata eseguita un'ispezione visiva, il cui scopo principale è di determinare lo stato di dissesto e degrado degli elementi resistenti. Durante l'ispezione visiva sono stati scoperti alcuni danneggiamenti dell'edificio, che però, sono difetti del rivestimento e dell'intonaco, ma non della struttura portante.

L'analisi sismica della struttura pre-intervento ha richiesto la modellazione della struttura, l'oggetto di studio è stato quindi rappresentato tramite un modello 3D parametrico usando un approccio BIM (Building Information Modeling), al fine di avere un comportamento quanto più vicino al reale. Tale modellazione è stata eseguita utilizzando il software DOLMEN, prodotto da CDM DOLMEN di Torino, imponendo agli elementi aste le caratteristiche effettive. Sempre con l'ausilio del programma di calcolo strutturale sono stati inseriti i carichi ed è stata determinata l'azione sismica di progetto, il modello tridimensionale è stato

sottoposto a un sistema di vibrazioni caratterizzato da uno spettro di accelerazione noto, determinando le frequenze proprie ed i relativi modi di vibrare.

La terza fase è dedicata all'elaborazione dei diversi interventi di adeguamento sismico, ovvero quelli classici e quelli innovativi. La scelta del tipo di intervento ha tenuto conto della vulnerabilità sismica delle strutture e delle sue carenze, in quanto sono evidenti le seguenti deficienze strutturali:

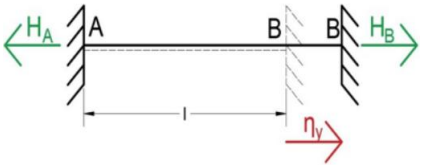
- Carenza della duttilità e capacità dissipativa
- Carenza della rigidezza

In particolare, vengono specificati gli aspetti teorici relativi ai metodi di adeguamento sismico e vengono sviluppati i progetti dettagliati dei seguenti interventi:

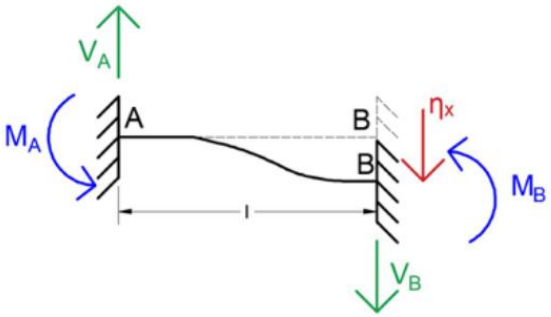
1) Accoppiamenti tra due edifici adiacenti

Al fine di evitare il fenomeno di martellamento tra due strutture adiacenti vengono progettati i congiungimenti rigidi realizzati con travi di cemento armato, dove si trascura il contributo di resistenza del calcestruzzo. L'area della sezione necessaria viene individuata modellando le travi come aste doppiamente incastrate e sollecitate allo spostamento imposto, con valori tali da garantire un collegamento rigido, ma nello stesso momento senza sovrairrigidire le travi; le lunghezze di ancoraggio vengono determinate in base alle prescrizioni dell'Eurocodice.

$$H_A = \frac{EA}{l}\eta \rightarrow A = \frac{H_A l}{E\eta}$$



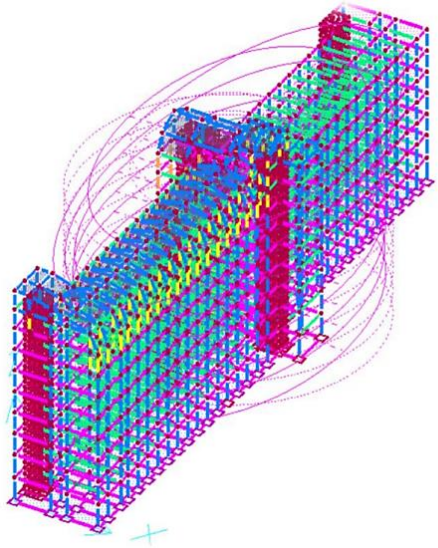
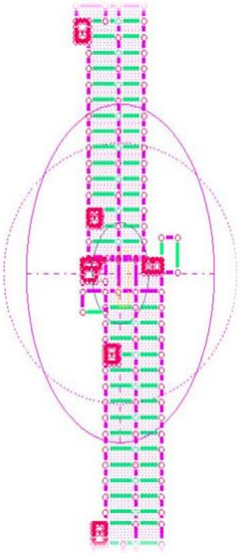
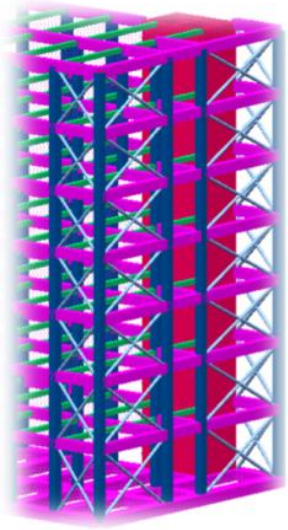
$$V_A = \frac{12EI}{l^3}\eta \rightarrow I = \frac{V_A l^3}{12E\eta} \rightarrow A = 2\pi\sqrt{\frac{V_A l^3}{12E\eta}\pi}$$



2) Controventi elastici concentrici a "Croce di Sant'Andrea"

Servono per irrigidire la struttura e vengono realizzati con acciaio S355, il posizionamento viene eseguito tenendo conto della regolarità della struttura e della presenza di aperture.

La regolarità strutturale viene valutata in base alle "elissi di rigidezza", che rappresentano la coincidenza o la non coincidenza del baricentro delle masse con quello delle rigidezze. L'obiettivo consisteva nel posizionare i controventi in modo tale da garantire il più possibile la coincidenza dei due baricentri.

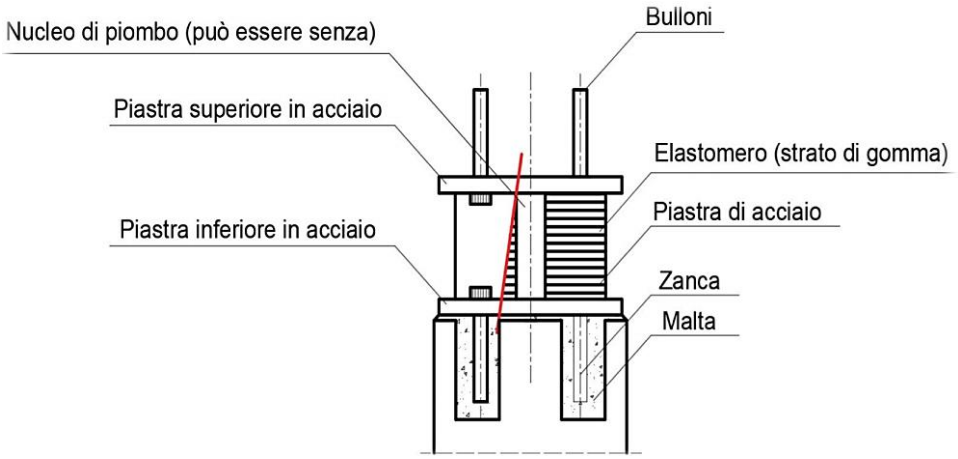




Come controventi elastici sono scelti controventi elastici concentrici a “Croce di Sant’Andrea”, in cui le zone dissipative sono collocate nelle diagonali tese.

Al fine di rispettare i limiti imposti da NTC 2018 relativi alla snellezza adimensionale, le sezioni delle diagonali vengono considerate come piatti semplici. Le aree necessarie vengono calcolate in base agli sforzi normali agenti, ricevuti dall’analisi dinamica e statica. Le diagonali sono disposte con il lato maggiore in direzione perpendicolare al controvento, così facendo viene evitata l’instabilità fuori piano. Inoltre, al fine di garantire un comportamento dissipativo omogeneo delle diagonali, vengono presi in considerazione i limiti relativi ai coefficienti di sovra-resistenza. La quantità necessaria di bulloni viene determinata sulla base della verifica a taglio ed a trazione, rispettando i limiti delle distanze minime.

3) Isolamento sismico alla base

Vengono progettati isolatori elastomerici, che assicurano alla struttura una risposta effettiva all’azione sismica.

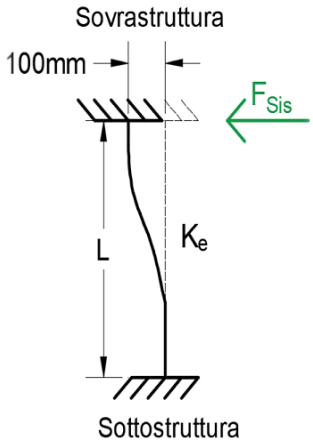


La procedura di progettazione consiste nei seguenti passi:

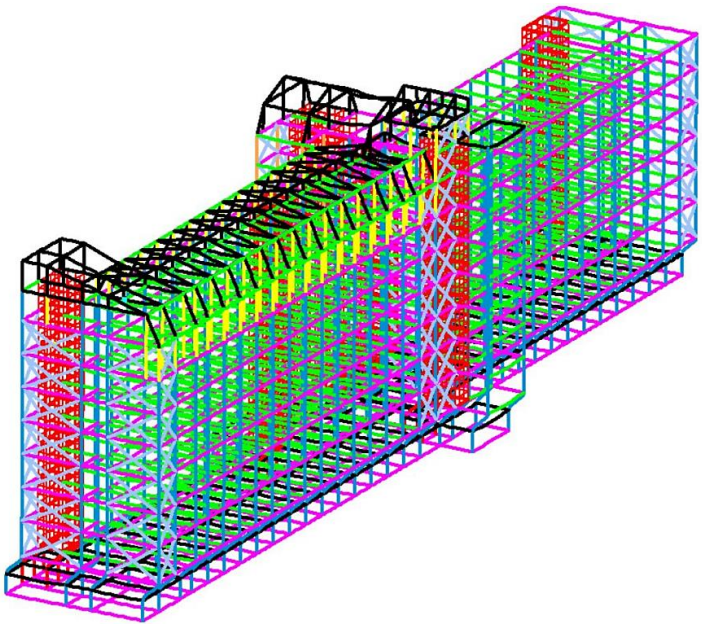
- scelta del periodo fondamentale,
- individuazione degli spettri elastici,

- determinazione della rigidezza dell'isolatore,
- individuazione dello spostamento massimo che andranno a subire gli isolatori,
- individuazione dei parametri geometrici dell'isolatore,
- scelta dell'isolatore sulla base dell'offerta del mercato.

Successivamente viene eseguita una modellazione (tramite software DOLMEN) della struttura isolata alla base con l'isolamento sismico previsto. La modellazione degli isolatori viene eseguita tramite aste doppiamente incastrate, dove al livello del vincolo all'estremità vengono permessi gli spostamenti orizzontali.

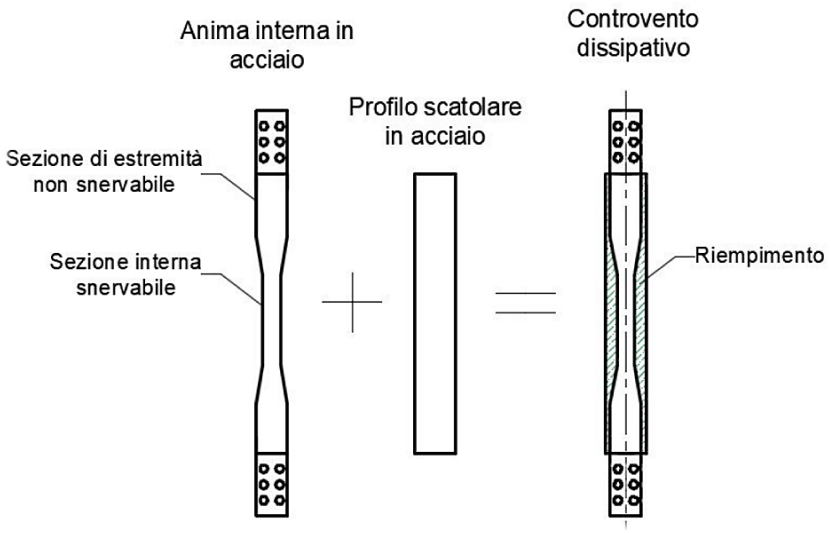


La rigidezza orizzontale equivalente dell'isolamento sismico viene presa in considerazione tramite diametro dell'asta. Come risultato delle analisi, vengono ottenuti la giusta ridistribuzione delle masse e la coincidenza dei periodi fondamentali.



4) Controventi dissipativi

Vengono progettati i controventi ad instabilità impedita, che sono costituiti da un'anima in acciaio di classe S355, involucro esterno costituito da profilo scatolare in acciaio, riempimento di calcestruzzo C32/40.



La procedura di progettazione dei controventi dissipativi consiste nei passi seguenti:

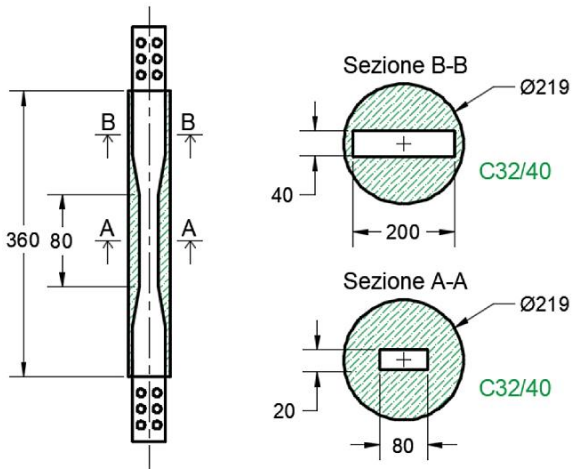
- modellazione,
- determinazione della deformazione del dissipatore prevista,
- determinazione della lunghezza snervata dell'asta,
- determinazione della forza trasmessa al dissipatore,
- determinazione dell'area dell'asta interna,
- determinazione dell'area di braccio,
- determinazione dell'area della sezione totale,
- determinazione dei parametri meccanici del controvento dissipativo,
- verifica con limiti di NTC2018.

La progettazione viene eseguita in conformità alle norme: NTC 2018, ASCE 7, FEMA 356, AISC 341.

Nell'ultima fase viene proposto il calcolo della vulnerabilità sismica della struttura prima e dopo gli interventi di adeguamento sismico. Inoltre, viene riportato un confronto tra diversi metodi di adeguamento sismico dell'edificio esistente, evidenziando i parametri di confronto più importanti, come l'efficienza antisismica, la complessità tecnologica dell'intervento, il livello di disturbo sia durante l'assemblaggio che durante il mantenimento, il costo relativo e il coefficiente di vulnerabilità sismica.

Intervento	T_1[sec]	D_y [cm]	D_x [cm]	F_b [kN]	Driftmax [cm]	Driftmax [%]	V
Corpo D	1,46	2,0	9,4	2662,13	2,12	0,54	-
Corpo B	1,83	5,9	9,9	3830,89	1,90	0,48	0,22
Struttura unificata	1,72	3,3	4,0	5344,75	1,14	0,29	0,21
Struttura unificata + controventi a X	1,13	3	2,8	9838,77	0,74	0,19	0,27
Struttura unificata + controventi a X + isolamento sismico	2,84	6,4	6,3	5132,98	0,06	0,02	1,23
Struttura unificata + controventi a V dissipativi	1,23	4,1	7,2	15839,2	0,62	0,19	1

	Disturbo	Costo	Complessità tecnologica
Struttura unificata	Medio	Basso	Bassa
Struttura unificata + controventi a X	Medio	Basso	Bassa
Struttura unificata + controventi a X + isolamento sismico	Alto	Alto	Alta
Struttura unificata + controventi a V dissipativi	Medio	Medio	Media

Nella conclusione della tesi viene fornita un'opinione sugli interventi di adeguamento sismico classici e innovativi. Nello specifico, dal confronto dei diversi metodi di adeguamento sismico viene dedotto che l'intervento consigliato sia l'unificazione dei due corpi, l'intervento più efficace sia l'impostazione dei controventi a "Croce di Sant'Andrea" con isolamento sismico elastomerico alla base. Però, il metodo più idoneo alla struttura presente è l'introduzione dei controventi dissipativi ad instabilità impedita (BRB).

Controvento BRB