



Riabilitazione incrementale nella riqualificazione integrata di edifici esistenti: approccio metodologico e applicazione a un caso studio

Simone Labò^a, Jacopo Zanni^a, Chiara Passoni^a, Alessandra Marini^a, Andrea Belleri^a

^a Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate, Viale Marconi, 24044 Dalmine (BG), Italy

Keywords: Riabilitazione Incrementale; retrofit sismico; tecniche di riqualificazione; life cycle thinking; edifici scolastici

ABSTRACT

Il rinnovamento strutturale, energetico ed architettonico del patrimonio edilizio esistente è ormai una necessità riconosciuta a livello Europeo ma le barriere sociali ed economiche alla riqualificazione ne ostacolano significativamente la fattibilità. Per superare tali barriere, è proposto un nuovo approccio alla riqualificazione che prevede l'adozione di strategie di riabilitazione incrementale (Incremental Seismic Rehabilitation - ISR) nel contesto di interventi di rinnovamento olistico e sostenibile del costruito. Questo approccio, che trae spunto dal concetto di riabilitazione incrementale inizialmente introdotto da FEMA P420 e ne amplia ed estende il campo di applicazione, ha l'obiettivo di perseguire un adeguato livello di sicurezza, resilienza e sostenibilità, seguendo i principi del Life Cycle Thinking (LCT) e realizzando interventi economicamente sostenibili programmati nel tempo. Inoltre, è approfondito il concetto di minimo intervento, inteso come insieme di azioni da condurre nello step iniziale al fine di porre rimedio alle criticità maggiori. In questo articolo, viene definita ed applicata una strategia di riabilitazione olistica incrementale ad un edificio di riferimento; la strategia ottimale dovrà garantire un adeguato livello di sicurezza strutturale dell'edificio minimizzando, allo stesso tempo, gli impatti ambientali e sociali di ciascuno step di intervento incrementale. I risultati dimostrano che l'ISR potrebbe rappresentare una buona risposta alla grande esigenza di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente garantendo il raggiungimento dei benefici prefissati e nel contempo minimizzando gli impatti sociali ed economici dell'intervento.

1 INTRODUZIONE

Enormi risorse sono state investite a livello Europeo per conseguire sostenibilità ambientale, economica e sociale; tuttavia, le risorse e gli sforzi fatti per raggiungere questo ambizioso target risultano vani senza un profondo e sistematico intervento sul patrimonio edilizio esistente. Nonostante questa grande esigenza di rinnovare il patrimonio edilizio esistente, la percentuale di edifici rinnovati ad oggi è soltanto pari all'1% (BPIE, 2011). Tra le barriere alla riqualificazione più significative, il Building Performance Institute Europe (BPIE) ha identificato la necessità di rilocalizzare gli abitanti (o, in generale, l'interruzione delle attività all'interno di un edificio), gli eccessivi tempi di costruzione dell'intervento ed il conseguente tempo di inutilizzo dell'edificio, i costi elevati e la mancanza di business model adeguati (BPIE, 2011; Krimgold, Hattis, & Green, 2004; La Greca & Margani, 2018; Manfredi & Masi, 2018).

Per superare tali barriere, è stato recentemente proposto un approccio olistico e sostenibile alla riqualificazione che vede la realizzazione di interventi condotti dall'esterno (in modo da evitare la rilocalizzazione degli abitanti e l'interruzione delle attività; ad esempio in Marini, et al., (2018). Inoltre, quando l'intervento di riqualificazione strutturale risulta essere economicamente insostenibile, lo stesso può essere realizzato attraverso strategie di riqualificazione sismica incrementale (Incremental Seismic Rehabilitation – ISR; FEMA P-420, 2009); ovvero mediante interventi progettati a tempo zero e poi programmati e realizzati in step successivi, nel tempo. In questo articolo il focus è posto su questo tipo di approccio (ISR) oltre a trattare un nuovo concetto di intervento minimo da realizzare come step 1. Infine, il metodo proposto viene applicato ad un edificio scolastico di riferimento, rappresentativo degli edifici del II dopo guerra.

2 RIABILITAZIONE SISMICA INCREMENTALE

La riabilitazione sismica incrementale, ISR, è stata introdotta e studiata negli USA dalla fine dello scorso secolo. In particolare, dalla collaborazione di istituti di ricerca universitari con la Federal Emergency Management Agency (FEMA) sono nati diversi documenti contenenti le linee guida per lo studio e l'applicazione della riabilitazione sismica incrementale sugli edifici; tali documenti sono stati pensati sia per i progettisti e tecnici, per indirizzarli alla programmazione e progettazione degli interventi, sia per gli accademici e i gestori delle strutture, per illustrarne i vantaggi, le possibilità e le metodologie da seguire.

La riabilitazione sismica incrementale è un approccio alla riabilitazione sismica che integra una serie ordinata di azioni volte al miglioramento del comportamento strutturale all'interno di attività di manutenzione dell'edificio e investimento del capitale su un periodo di tempo prolungato. Il processo prevede una serie di interventi da effettuarsi in concomitanza con i lavori di manutenzione programmata, di riparazione o ristrutturazione, in periodi di ridotta occupazione o utilizzo.

Il concetto alla base di tale approccio è che programmando interventi dilazionati nel tempo si possono ottenere benefici maggiori rispetto a quelli ottenibili ritardando un intervento o non realizzandolo del tutto; inoltre riducendo i costi iniziali dell'intervento, aumentano le possibilità di realizzare l'intervento di riqualificazione di un edificio esistente (FEMA P-420) (Figura 1).

In Figura 1, sono confrontati qualitativamente i benefici ottenuti realizzando un intervento di riabilitazione completo realizzato in un singolo step ed i benefici ottenuti adottando una strategia di riabilitazione incrementale. Quello che si può osservare è che i benefici ottenuti adottando una strategia di riabilitazione incrementale possono essere, alla fine, circa uguali a quelli ottenuti realizzando un intervento di riqualificazione completo ed in un singolo step; attraverso un approccio incrementale, tuttavia, i costi vengono dilazionati nel tempo.

Secondo le linee guida FEMA, gli interventi di riabilitazione incrementale possono essere programmati in funzione di priorità strutturali, d'uso, o per favorirne l'integrazione con altre misure di manutenzione; in questo articolo viene data maggior rilevanza alla priorità strutturale ponendo come principale obiettivo degli interventi la salvaguardia della vita umana. In accordo con questa filosofia, viene introdotto il concetto di

minimo intervento: il minimo intervento corrisponde al minimo livello di benefici (e.g. salvaguardia della vita) che deve essere raggiunto mediante il primo step della strategia di riabilitazione incrementale (Labò, et al., 2018). Il minimo intervento ha l'obiettivo di garantire un livello minimo di sicurezza, evitando il collasso della struttura, mediante un intervento economicamente sostenibile e socialmente poco impattante.

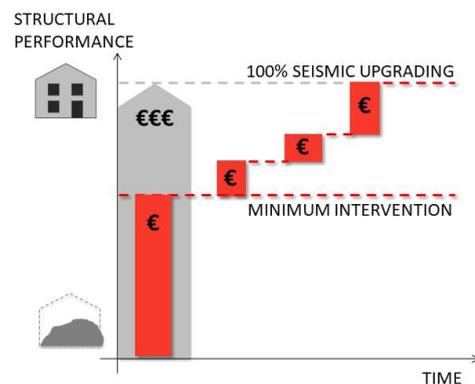


Figura 1. Concetto di ISR ed intervento minimo (Labò, et al., 2018)

In generale, l'ISR rappresenta una strategia efficace specialmente per le strutture di grandi dimensioni o che non siano utilizzate con continuità durante l'anno. Eventuali periodi di inattività di un edificio potrebbero essere sfruttati per realizzare gli step della strategia di riabilitazione incrementale (Masi, Santarsiero, & Ventura, 2016; FEMA P-420, 2009).

3 APPLICAZIONE AD UN EDIFICIO SCOLASTICO DI RIFERIMENTO

In questa sezione, viene presentata una possibile strategia di riabilitazione incrementale applicata ad un edificio scolastico di riferimento. Per l'edificio in oggetto la principale barriera alla riqualificazione è rappresentata dall'impossibilità di rilocalizzare od interrompere le attività scolastiche; tuttavia, grazie ai periodi di inattività estivi della scuola, è possibile programmare e prevedere la realizzazione dei vari interventi durante questi intervalli temporali (FEMA 395, 2004). Inoltre, per ridurre i costi iniziali dell'intervento pur garantendo un livello minimo di performance strutturale, la salvaguardia della vita è stata imposta come target di intervento minimo.

3.1 Descrizione dell'edificio esistente

La scuola in oggetto, costruita a Brescia (BS) nel 1966, si sviluppa su 4 piani fuori terra. Il primo

impalcato si innesta ad una quota di 0.80 m dal livello del suolo mentre i piani superiori hanno altezza di interpiano pari a 3.52 m; l'edificio risulta, pertanto, irregolare in elevazione. La struttura, realizzata in calcestruzzo armato, si sviluppa con 3 telai monodirezionali in direzione Y, e 5 telai monodirezionali in direzione X (Figura 2). In entrambe le direzioni le travi hanno luci variabili (Figura 2) e sono caratterizzate da un rapporto altezza-luce alto se confrontato con le geometrie usuali del tempo (Figura 2). Le dimensioni e le armature dei pilastri sono riportate in Figura 2; il vano scale è realizzato con 2 setti in C.A. non progettati per i carichi orizzontali. I pannelli di tamponamento sono presenti regolarmente in elevazione e sono costituiti da un doppio strato di mattoni forati ed un'intercapedine d'aria per uno spessore totale pari a 30 cm. I materiali impiegati sono calcestruzzo C20/25 ed acciaio AQ42.

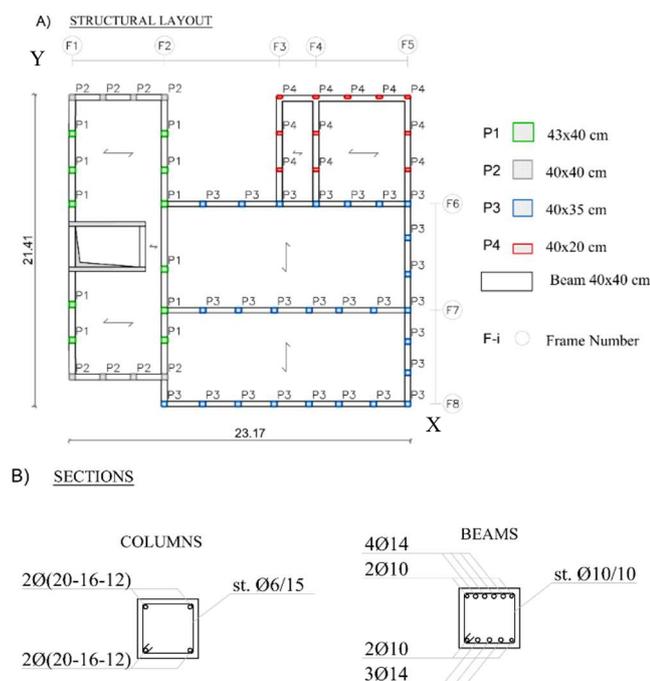


Figura 2. a) Layout della struttura portante dell'edificio, b) Sezioni di pilastri e travi.

Per quanto riguarda la determinazione dello spettro di progetto per l'edificio in oggetto, è stata considerata una categoria di sottosuolo D e topografia T1 ($a_g=0.168g$) (NTC, 2018).

3.2 Analisi strutturale: modellazione e vulnerabilità

Un modello tridimensionale dell'edificio è stato realizzato mediante il software MidasGen (MidasGen, 2018). Gli elementi strutturali del telaio sono stati modellati con elementi tipo *beam* e le non-linearità sono state considerate mediante

cerniere plastiche concentrate calcolate in accordo con la circolare applicativa della normativa italiana (C.M. 7; NTC, 2018). Il comportamento a flessione è stato modellato mediante cerniere tipo FEMA includendo per i pilastri (incastri alla base) l'interazione momento-azione assiale. Per descrivere il comportamento a taglio degli elementi strutturali, sono state introdotte cerniere plastiche con comportamento elasto-fragile. I diaframmi di piano sono stati assunti rigidi-fragili, secondo il modello proposto in (Belleri et al., 2019).

I tamponamenti sono stati modellati mediante elementi tipo *truss* convergenti nei nodi trave-colonna. Il comportamento non lineare è stato descritto mediante una curva trilineare drift-forza in cui la fessurazione del tamponamento corrisponde al punto (0.3%; F_{cr}) mentre la rottura al punto (0.5%; F_P); F_{cr} e F_P sono stati calcolati in accordo con Decanini et al. (1993) mentre per la deformabilità si è fatto riferimento al modello proposto da Sassun et al. (2016).

Considerando che il vano scale non è stato concepito né progettato per i carichi orizzontali, esso è stato modellato come elemento rigido caratterizzato da scarsa duttilità. Ipotizzando che il vincolo alla base dei setti del vano scale realizzati su plinti isolati non possa essere considerato un incastro perfetto, per rappresentare la deformabilità della fondazione è stata introdotta una molla rotazionale alla base dei setti stessi; la molla è stata calibrata considerando la rigidità della fondazione ed ipotizzando un terreno di media consistenza.

Definito il modello a elementi finiti, sono state condotte delle analisi statiche non-lineari (Pushover). I risultati, riportati in Figura 3, mostrano un collasso fragile della struttura sviluppato in seguito alla rottura a taglio dei pilastri al piano terra dell'edificio in corrispondenza di uno spostamento in sommità pari a circa 0.06 m -punto 2-; tale meccanismo si ritiene ragionevole considerando l'irregolarità in altezza dell'edificio stessa dovuta alla presenza di pilastri corti alla base. Si evidenzia inoltre la rottura a taglio delle travi del telaio F7 -punto 1- (Figura 3); sebbene non comporti il collasso globale dell'edificio, la rottura di questi elementi è un fattore molto importante da tenere in considerazione vista la natura fragile del meccanismo di collasso stesso. Si osserva inoltre che l'edificio non soddisfa la domanda in termini di spostamento allo stato limite di salvaguardia della vita (LSLS) e pertanto richiede un intervento di riqualificazione strutturale.

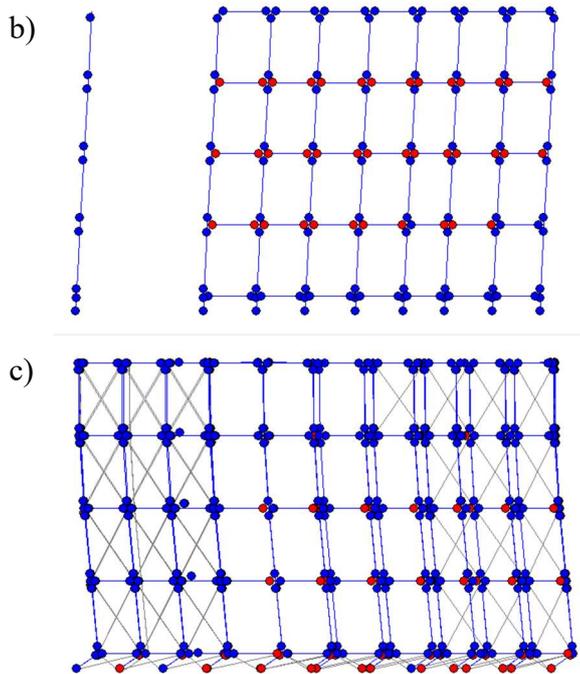
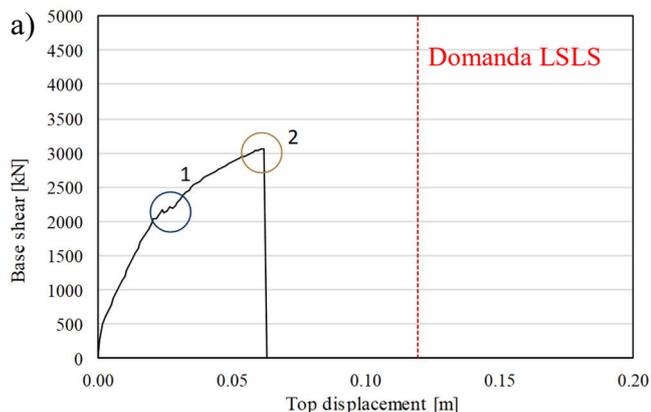


Figura 3. a) Curva di capacità dell'edificio esistente ottenuta dall'analisi Pushover; vulnerabilità principali dell'edificio: b) rottura delle travi del telaio F7; c) rottura dei pilastri alla base.

3.3 Strategia di riabilitazione incrementale adottata

Gli interventi e le azioni in accordo ai principi di riabilitazione incrementale sono stati definiti considerando sia le problematiche strutturali ravvisate in fase di analisi di vulnerabilità, sia i criteri di progettazione introdotti con il Life Cycle Thinking (Figura 4).

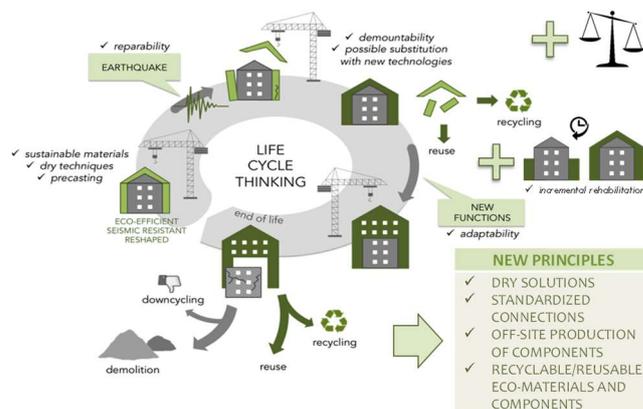


Figura 4 Life Cycle Thinking applicato ad un intervento di riqualificazione integrata adattato da (Marini, et al., 2017).

In particolare sono state considerate:

Priorità strutturali. Sono stati imposti 2 differenti target:

1. lo spostamento allo stato limite di salvaguardia della vita è stato imposto come target relativo all'intervento minimo;
2. un drift di interpiano minore di 0.5% è stato imposto come target finale dell'intervento in modo da limitare i danni agli elementi non strutturali in caso di terremoto;

Sostenibilità ambientale. In fase di progettazione dell'intervento, l'intero ciclo di vita dell'intervento di retrofit deve essere considerato (Figura 4); per questo motivo, soluzioni a secco, prefabbricate, elementi e connessioni standardizzate, che siano assemblabili in tempi successivi secondo necessità della strategia di ISR adottata, e che consentano la riparabilità localizzata in caso di terremoto sono preferibili;

Sostenibilità sociale. Per ridurre al minimo l'impatto della realizzazione dell'intervento sulle attività scolastiche, tutti gli step devono essere progettati per poter essere realizzati durante i periodi di inattività estiva dell'edificio e comunque messi in opera dall'esterno. Per questo motivo, con l'obiettivo di velocizzare i tempi di cantiere, risulta indispensabile l'impiego di soluzioni a secco realizzate mediante elementi e connessioni standardizzate in modo da poter garantire lo sviluppo del progetto mediante tecniche montabili in fasi successive.

Sulla base dei suddetti criteri, sono stati definiti i seguenti step del progetto di riabilitazione incrementale:

- Step 1: Intervento minimo: eliminazione del meccanismo di collasso individuato nell'analisi statica non-lineare, mediante l'introduzione di controventi metallici alla base dell'edificio;
- Step 2: Rinforzo delle travi del telaio F7;

- **Step 3:** Introduzione di un esoscheletro esterno per controllare gli spostamenti dell'edificio al termine del intervento; questo step può essere considerato uno step aggiuntivo rispetto a quanto indicato dalle normative in vigore in quanto non si limita a garantire la salvaguardia della vita ma ha l'obiettivo di evitare danni all'edificio (in particolare agli elementi non strutturali) in caso di evento sismico.

Parallelamente allo Step 3, sfruttando le attività di cantiere previste per la realizzazione dei setti esterni, viene proposta l'applicazione di un cappotto termico all'edificio in modo da migliorare anche termicamente le prestazioni dell'edificio. È interessante notare come per raggiungere una trasmittanza delle pareti uguali a $0.2 \text{ kW/m}^2\text{K}$ sia possibile utilizzare vari materiali caratterizzati da vari spessori e vario costo (Tabella 1); l'approccio olistico consente di tenere in conto anche gli impatti ambientali, i quali sono maggiori per i materiali più performanti.

Tabella 1. Possibili materiali per il cappotto termico. Nota: s è lo spessore richiesto; ECO è l'impatto ambientale (1 basso, 4 alto).

Materiale	s (mm)	ECO
Vacuum insulation panel	25	4
Aerogel blanket	75	4
Polysocyanurate foam	130	3 / 4
Phenolic foam	135	3 / 4
Expanded polystyrene	180	3
Extruded polystyrene	190	3
Rockwool	210	2
Cellulose fibre	235	1

È importante notare che, il risparmio economico conseguente all'efficientamento energetico dell'edificio offre la possibilità di recuperare in un determinato numero di anni il costo dell'intervento integrato (energia e struttura).

3.4 Discussione dei risultati

Le curve di capacità relative ai vari step sono riportate in Figura 5. La curva di capacità relativa allo step 1 mostra come, evitando la rottura a taglio dei pilastri corti del piano terra, la duttilità globale dell'edificio incrementi in modo significativo. Si osserva tuttavia la permanenza della rottura delle travi in corrispondenza del telaio F7. In seguito alla realizzazione dello step 2, la rottura di tali travi è evitata. Tuttavia, i drift di interpiano ottenuti, pari a 1%, implicano un significativo

danneggiamento degli elementi non strutturali in caso di terremoto.

Infine, con l'obiettivo di evitare danni anche agli elementi non-strutturali, sono stati introdotti nuovi setti esterni in acciaio (Figura 5) nello step 3. Questo sistema di retrofit, sviluppato ed analizzato in recenti lavori di ricerca (Marini, et al., 2017; Passoni, et al., 2017), può essere realizzato dall'esterno riducendo al minimo l'impatto della fase di costruzione sulle attività regolarmente svolte all'interno dell'edificio esistente. Nel caso in oggetto sono stati introdotti 2 setti di controvento per lato realizzati con profili tubolari cavi di diametro 219.1 mm e spessore 20 mm. Tutti i profili sono stati progettati per evitare instabilità in compressione.

I risultati delle pushover ottenuti al completamento dei 3 step incrementali mostrano che (Figura 5) la domanda al limite di salvaguardia della vita (LSLS) è soddisfatta (Figura 5a) e che il drift di interpiano è inferiore a 0.5% (Figura 5b). Un drift inferiore 0.5% significa che, in corrispondenza del limite di salvaguardia della vita, la rottura dei tamponamenti viene evitata.

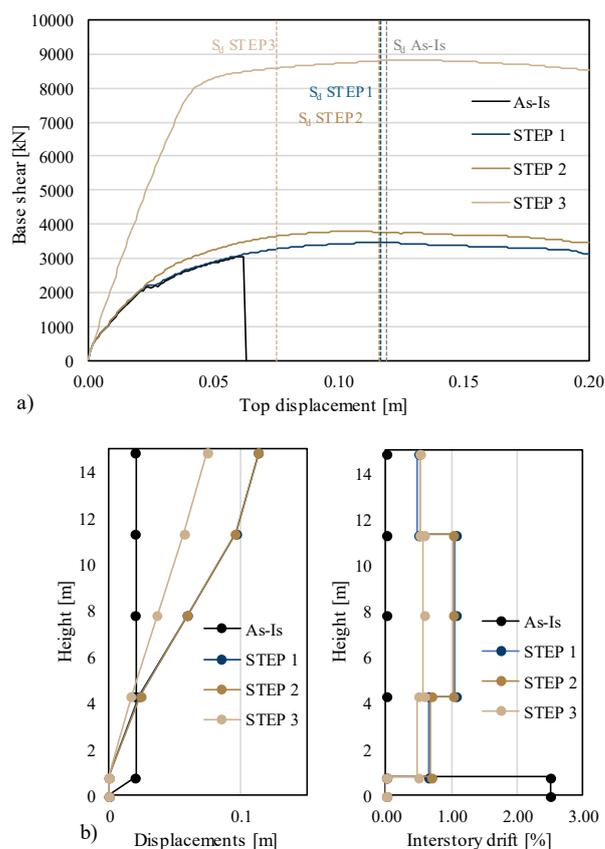


Figura 5. a) confronto tra le curve di capacità relative agli step del progetto di riabilitazione incrementale; b) spostamento totale e spostamento di interpiano relativo ad ogni step.

4 CONSIDERAZIONI FINALI

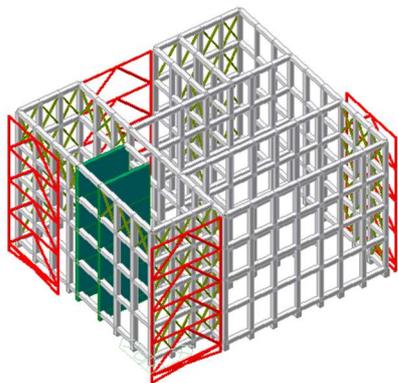


Figura 6. Modello a elementi finiti dell'edificio dopo il III step del progetto di riabilitazione incrementale.

In Figura 7 è riportato il livello di sicurezza - espresso come IS-V (D.M. 58) - raggiunto con il completamento dei vari step del progetto di riabilitazione incrementale ed i rispettivi costi espressi in percentuale sul costo totale di ricostruzione dell'edificio (assunto pari a 1400 €/m²).

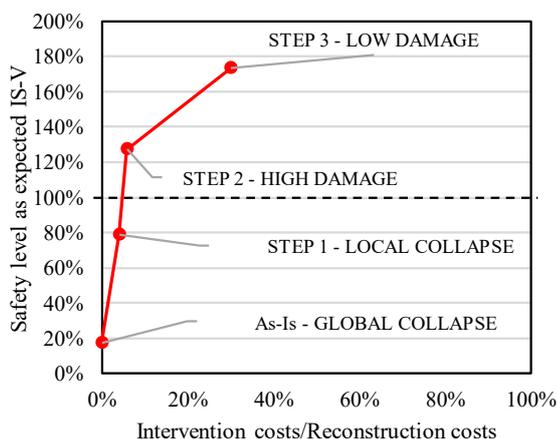


Figura 7. Confronto tra livello di sicurezza espresso attraverso l'indice IS-V (D.M. 58) e costi di realizzazione dei vari step incrementali.

Dal grafico si può notare che con l'intervento minimo (step 1) si ha un significativo incremento del livello di sicurezza ed un costo di realizzazione dell'intervento contenuto; viceversa, lo step 3 richiede un investimento significativo per evitare danni agli elementi non strutturali dell'edificio. È inoltre interessante notare che il costo totale dell'intervento di riqualificazione strutturale risulta essere circa il 30% del costo di ricostruzione. In questa fase i costi relativi al cappotto termico, demolizione e smaltimento dei rifiuti non sono stati considerati.

Il lavoro è parte di un filone di ricerca condotto presso l'Università degli studi di Bergamo e focalizzato sul recupero integrato del patrimonio edilizio esistente. Focalizzandosi sugli edifici in C.A., l'obiettivo è quello di proporre soluzioni integrate che mirino a risolvere le carenze strutturali, energetiche ed architettoniche dell'edificio stesso con l'obiettivo di contribuire alla realizzazione di una società più sicura, sostenibile e resiliente. Per poter conseguire questi obiettivi, gli interventi non possono essere pensati analizzando le singole carenze in modo indipendente.

Va notato che il concetto di sostenibilità deve tenere in considerazione anche il rischio sismico; in caso di terremoto, un edificio non sicuro risulterebbe responsabile di un significativo impatto sull'ambiente (Belleri & Marini, 2016).

Sulla base di queste premesse e sui principi del "life cycle thinking", in questo articolo è stata proposta una strategia di riabilitazione incrementale. Gli obiettivi prefissati sono stati di dilazionare nel tempo i costi di realizzazione dell'intervento e di permettere la realizzazione dello stesso durante i periodi di inattività della struttura. In questo modo è stato possibile superare alcune tra le principali barriere alla riqualificazione. Inoltre è stato introdotto il concetto di minimo intervento con l'obiettivo di raggiungere un livello minimo di sicurezza del patrimonio edilizio attraverso interventi realizzabili in breve tempo e senza un grosso impatto sull'edificio. In quest'ottica, il primo step del progetto di riabilitazione è stato concepito come l'intervento minimo in grado di salvaguardare la vita umana evitando il collasso dell'edificio.

Una strategia di riabilitazione incrementale è stata infine applicata, basandosi principalmente sulle priorità strutturali, ad un edificio scolastico ed i benefici associati ad un approccio di questo tipo sono stati dimostrati.

In questo contesto sono state effettuate considerazioni preliminari riguardo ai costi ed ai benefici relativi ai vari step di riabilitazione incrementale. I risultati hanno mostrato come nel caso considerato con un piccolo investimento (5% rispetto al costo di ricostruzione) sia possibile ottenere un significativo incremento in termini di sicurezza dell'edificio stesso; viceversa, per ridurre al minimo i danni agli elementi non

strutturali in caso di evento sismico, è richiesto un investimento maggiore.

Si ritiene che queste considerazioni possano risultare determinanti nella progettazione della strategia di riqualificazione incrementale sia di un singolo edificio, sia di più edifici. Considerando che una delle principali barriere alla riqualificazione sia legata ai costi degli interventi stessi, una valutazione attenta di costi/benefici dei vari step del progetto di riabilitazione incrementale potrebbe risultare determinante progetto specialmente nel caso di riqualificazione su larga scala. Ad esempio, nella gestione di più edifici potrebbe risultare più efficace realizzare l'intervento minimo su più edifici (sempre in ottica di riqualificazione incrementale), e in questo modo aumentarne in modo significativo il grado di sicurezza, piuttosto che concentrare il capitale a disposizione per l'adeguamento di un singolo edificio.

Una strategia di riabilitazione incrementale efficace potrebbe anche permettere di valutare la programmazione degli interventi in modo da poter prevedere l'utilizzo del capitale risparmiato successivamente ad un intervento di miglioramento energetico (realizzato in concomitanza dell'intervento minimo) per permettere la realizzazione degli step di riabilitazione strutturale successivi.

Data la grande potenzialità ed adattabilità di tali concetti si ritiene pertanto che un approccio integrato alla riqualificazione che si basi sui principi del LCT e che permetta di sviluppare l'intervento adottando strategie di riabilitazione incrementale possa essere una buona risposta alla grande necessità di riqualificazione del patrimonio edilizio italiano.

In sviluppi futuri, un parametro quantitativo utile alla definizione dei requisiti relativi all'intervento minimo potrebbe essere investigato basandosi anche su accurate analisi costi benefici condotte per i vari step del progetto.

RICONOSCIMENTI

Gli autori ringraziano il Comune di Brescia, in particolare l'arch. Massimo Azzini e l'ing. Carlo Lazzaroni, per il supporto alla ricerca e per la documentazione fornita. Si ringraziano inoltre ing. Sara Bignotti e ing. Simona Pellegrini per aver contribuito all'analisi del caso studio durante il lavoro della loro tesi di laurea.

BIBLIOGRAFIA

- Belleri, A., & Marini, A. (2016). Does seismic risk affect the environmental impact of existing buildings? *Energy and Buildings*, 110, 149-158. doi:10.1016/j.enbuild.2015.10.048
- BPIE. (2011). Europe's buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of the buildings. Brussel.
- Belleri, A., Marini, A., Passoni, C., Feroldi, F., & Giuriani, E. (15-19 settembre 2019). Il ruolo critico dei diaframmi di piano negli interventi di adeguamento sismico condotti dall'esterno. XVIII Convegno anidid. Ascoli Piceno.
- Circolare Ministeriale n.7 del 11/02/2019, Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018. Decanini, L., Gavarini, C., & Bertoldi, S. (1993). Telai tamponati soggetti ad azioni sismiche, un modello semplificato: confronto sperimentale e numerico. VI Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica in Italia. Perugia.
- Decanini, L., Gavarini, C., & Bertoldi, S. (1993). Telai tamponati soggetti ad azioni sismiche, un modello semplificato: confronto sperimentale e numerico. VI Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica in Italia. Perugia.
- Decreto Ministeriale n.58 del 28/02/2017, Linee guida per la classificazione del rischio sismico nelle costruzioni
- FEMA P-420, F. E. (2009). *Engineering Guideline for Incremental Seismic Rehabilitation*. USA.
- FEMA 395 2004 Incremental Seismic Rehabilitation of School Buildings (K12) Federal Emergency Management Agency (FEMA) – USA.
- Krimgold, F., Hattis, D., & Green, M. (2004). *Incremental seismic rehabilitation of multifamily apartment buildings: providing protection to people and buildings*. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Homeland Security, FEMA.
- La Greca, P., & Margani, G. (2018). Seismic and Energy Renovation Measures for Sustainable Cities: A Critical Analysis of the Italian Scenario. *Sustainability*, 10(1), 254. doi:10.3390/su10010254
- Labò, S., Casprini, E., Passoni, C., Zanni, J., Belleri, A., Marini, A., & Riva, P. (2018). Application of low-invasive techniques and incremental seismic rehabilitation to increase the feasibility and cost-effectiveness of seismic interventions. IV International Conference on Building Pathology and Constructions Repair – CINPAR 2018. Florence.
- Manfredi, V., & Masi, A. (2018). Seismic Strengthening and Energy Efficiency: Towards an Integrated Approach for the Rehabilitation of Existing RC Buildings. *Buildings*, 8-36.
- Marini, A., Passoni, C., & Belleri, A. (2018). Life cycle perspective in RC building integrated renovation. XIV International Conference on Building Pathology and Constructions Repair – CINPAR. Florence.
- Marini, A., Passoni, C., Belleri, A., Feroldi, F., Preti, M., Metelli, G., . . . Plizzari, G. (2017). Combining seismic retrofit with energy refurbishment for the sustainable renovation of RC buildings: a proof of concept. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-21. doi:10.1080/19648189.2017.1363665.
- Masi, A., Santarsiero, G., & Ventura, G. (2016). Incremental seismic rehabilitation of RC buildings: An application to the school buildings of Basilicata region (Southern Italy). *Life-Cycle of Engineering Systems: Emphasis on Sustainable Civil Infrastructure: Proceedings of the Fifth*

- International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2016), (p. 438). Delft, The Netherlands.
- Midas GEN 2018 (v.1.2) Analysis Manual for Midas GEN.
- NTC. (2018). Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018). Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, Supplemento ordinario n.42.
- Passoni, C., Labò, S., Belleri, A., Marini, A., & Riva, P. (2017). Sustainable restoration of post-WWII European reinforced concrete buildings. Santiago, Chile: Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake (16WCEE).
- Sassun, K., Sullivan, T. J., Morandi, P., & Cardone, D. (2016). Characterising the in-plane seismic performance of infill masonry. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering.