



Verso una **Scuola Resiliente**

31 maggio 2018

Centro congressi Federico II
Via Portofino, 36

01 giugno 2018

Liceo Antonio Genovesi
Piazza del Gesù Nuova, 1

Istituto G. Rossini
Via Terracina, ex CAPAC

Atti di Convegno

Adeguamento sismico di un edificio scolastico in cemento armato mediante controventi dissipativi

Pasquale Crisci, Gennaro Di Lauro, Gianfranco Laezza

Aires Ingegneria | Via Cesare Battisti 31 - Caserta - Italy | info@airesingegneria.it

Abstract

Many existing RC buildings were designed without earthquake-resistance requirements (pre-code structures) or according to outdated structural codes and, thus, they may lack of adequate seismic resistance. This is especially critical for public buildings such as hospitals or schools, whose seismic resistance has strategic importance in case of earthquake.

This paper outlines the seismic retrofit design carried out on an existing school building, located in Italy, by means of dissipative steel bracing system.

This retrofit technique has been chosen considering that steel bracing systems show several advantages such as their suitability for prefabrication, their relatively low weight, and the possibility to maintain inner and outer openings. Moreover, the braces may be directly connected to the concrete elements without using steel frames fixed to the concrete structure. Ultimately, the use of dissipative elements (namely steel hysteretic dampers) increases the capacity of the building to withstand seismic load by an energy dissipation process.

1. INTRODUZIONE

Il complesso scolastico è sede del Liceo Statale “Vito Capialbi” di Vibo Valentia. Si compone di 4 unità strutturali in c.a. denominate A, B, C e D separate con giunti tecnici.

L'Amministrazione Provinciale di Vibo Valentia, sensibile alle problematiche relative alla **rifunzionalizzazione con adeguamento sismico** degli edifici scolastici, ha ottenuto i finanziamenti regionali per intervenire sul Corpo A. I lavori, progettati nel 2014, sono stati ultimati nel 2016. Per i restanti corpi del plesso scolastico, l'Amministrazione ha avviato l'iter per la richiesta dei finanziamenti necessari al fine di realizzare i lavori sia di adeguamento sismico sia di efficientamento energetico.

Il presente lavoro riguarda l'adeguamento sismico del Corpo A che è stato ottenuto mediante l'utilizzo di tecnologie innovative che prevedono l'impiego di controventi dissipativi di tipo isteretico.

2. APPROCCIO PROGETTUALE

L'utilizzo di dispositivi di dissipazione è stato dettato non solo dalla richiesta esplicita della Amministrazione di voler adeguare sismicamente l'edificio, ma anche dal voler utilizzare una tecnologia innovativa "a vista" che avesse per l'utenza scolastica una **forte valenza educativa** per i seguenti motivi: consapevolezza di vivere in una zona sismica ma allo stesso tempo di frequentare una **Scuola Sicura**; conoscenza dell'esistenza di tecnologie innovative in grado di migliorare le condizioni di sicurezza; riconoscimento che la soluzione proposta in quanto metallica è totalmente riciclabile e quindi rispettosa dell'ambiente.

È importante in queste circostanze procedere ad una **progettazione partecipata** coinvolgendo oltre al RUP per gli aspetti tecnici ed economici anche la Dirigenza Scolastica per gli aspetti funzionali e programmatici.

Tale metodologia prevede durante la fase progettuale incontri in loco con la Dirigenza Scolastica, che è l'organo che realmente poi utilizza la struttura e conosce le reali necessità che servono alla crescita ed alla formazione degli studenti.

In questo modo è possibile procedere ad un primo approccio generale al progetto e verificare esattamente le reali necessità, sempre in un'ottica di rispetto normativo, comfort e con molta attenzioni al budget ed ai costi complessivi messi a disposizione dall'Amministrazione.

Come già ampiamente sperimentato in occasione della redazione di progettazioni finalizzate al consolidamento strutturale di edifici scolastici, si è riscontrato particolarmente proficuo lo stretto dialogo con l'Amministrazione e con gli altri attori coinvolti (fra cui anche gli insegnanti), per individuare i bisogni propri della scuola, assicurando dunque sempre un alto livello di soddisfazione da parte dell'utenza.

In queste circostanze si è visto che ogni persona può apportare esperienze e migliorare il progetto: il **Tecnico** evidenzia il rispetto delle norme; l'**Utente** apporta l'esperienza quotidiana della fruizione dell'immobile; l'**Amministratore** valuta la durata e la manutenzione del bene, nonché l'immagine ed il messaggio che questa porta in sé.

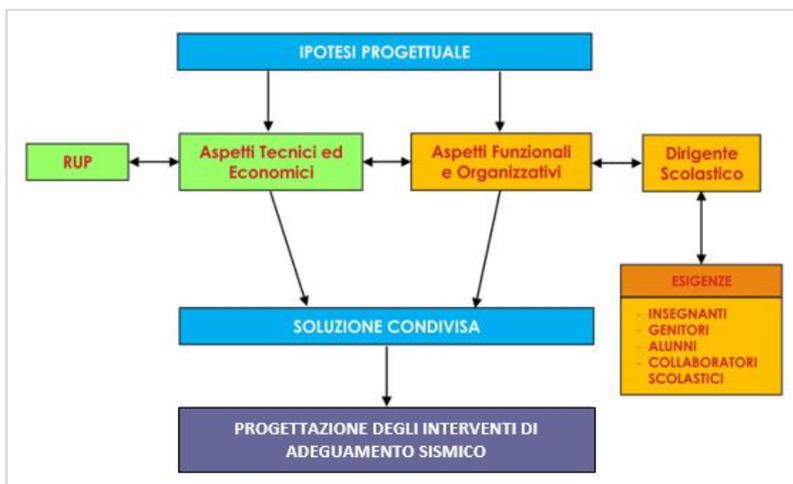


Figura 1: Progettazione “partecipata”

3. PROGETTO DI INTERVENTO

Il complesso scolastico con struttura portante in telai di travi e pilastri in cemento armato e solai latero-cementizi fu progettato nel 1962 secondo le disposizioni normative del 1937. Il sito rientrava in una zona il cui coefficiente di intensità sismica era $C = 0,07$. Nella progettazione fu utilizzato il metodo delle tensioni ammissibili. L'edificio è costituito da quattro corpi di fabbrica (unità strutturali), denominati A, B, C, D.

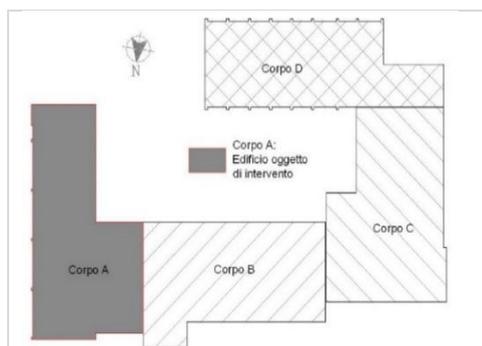


Figura 2: Planimetria - Quadro di unione



Figura 3: Prospetto principale

La valutazione delle prestazioni sismiche è stata effettuata ai sensi delle NTC 2008 e Circolare 617/2009 previa esecuzione delle seguenti attività: rilievo geometrico-strutturale

e tecnologico “ex-novo”; analisi storico critica; campagna di indagini conoscitive e prove sulle strutture e sui terreni.

La campagna di indagini è stata calibrata in modo da conseguire il massimo livello di conoscenza e precisamente un “Livello di Conoscenza Accurata – LC3”.

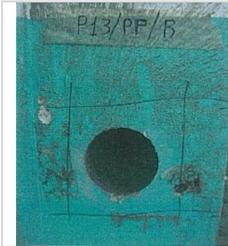


Figura 4: Carotaggio su pilastro in c.a.



Figura 5: Prova di carbonatazione su provino di calcestruzzo



Figura 6: Estrazione di barra di armatura da pilastro in c.a.

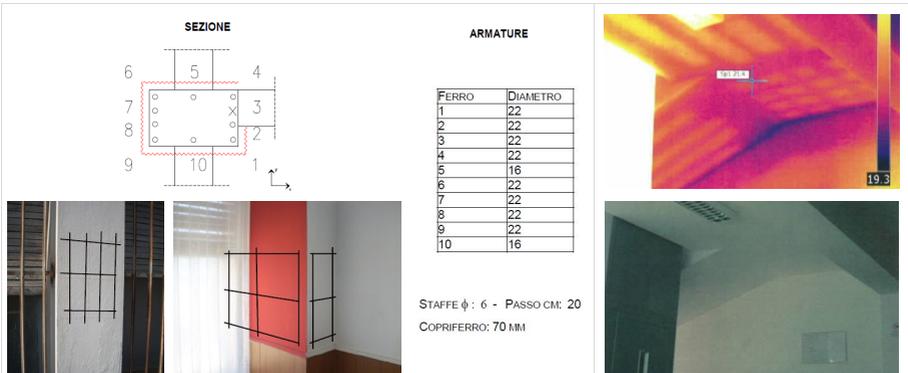


Figura 7: Indagine pacometrica su elementi in c.a.

Figura 8: Indagine termografica



Figura 9: Indagine sui terreni – Prova SPT



Figura 10: Indagine sui terreni - Prova MASW

La sicurezza strutturale nello stato pre-intervento è stata valutata mediante analisi statiche non lineari (dette anche Pushover). Dalle analisi eseguite con modellazione numerica agli

elementi finiti è emerso che l'edificio risulta particolarmente vulnerabile nei confronti delle azioni sismiche previste dalla normativa vigente (NTC 2008).

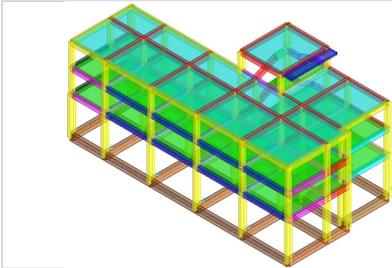


Figura 11: Modello 3D – stato di fatto

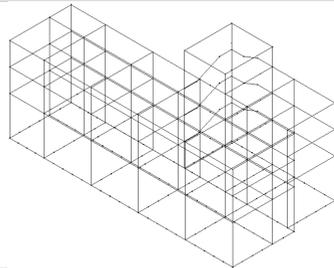


Figura 12: Modello FEM – stato di fatto

stato limite	PGA	Tr	IR,PGA	IR,Tr
SLO				
Spostamento di interpiano SLO	0.090	36	0.877	0.911
SLD				
Spostamento di interpiano SLD	0.126	67	0.941	0.953
SLV				
Rottura a taglio	0.087	34	0.253	0.287
Rottura a flessione/pressoflessione (rotaz. alla corda slv)	0.237	245	0.691	0.646
Rottura di nodo non confinato in c.a.	0.059	22	0.173	0.240
Valori minimi SLV	0.059	22	0.173	0.240

Figura 13: Indicatori sismici nello stato di fatto

Per superare le criticità emerse dall'analisi dello stato di fatto è stato progettato un intervento di consolidamento strutturale finalizzato all'adeguamento sismico mediante l'impiego di controventi dissipativi in acciaio di tipo isteretico. Le verifiche di sicurezza nello stato di progetto sono state eseguite in termini di deformazione per i meccanismi di tipo duttile, ovvero in termini di resistenza per i meccanismi di tipo fragile, confrontando la domanda sismica con la corrispondente capacità. Per tener conto degli effetti non lineari dei dissipatori, nello stato di progetto è stata eseguita un'Analisi Dinamica Non Lineare (detta anche Time-History), che rappresenta allo stato attuale il metodo di progettazione più evoluto per rappresentare più da vicino il reale comportamento delle strutture.

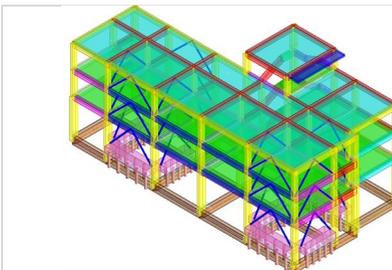


Figura 14: Modello 3D – stato di progetto

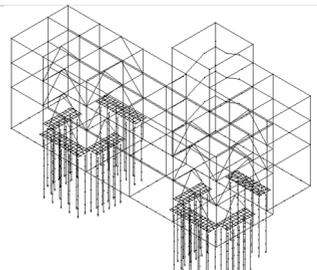


Figura 15: Modello FEM - stato di progetto

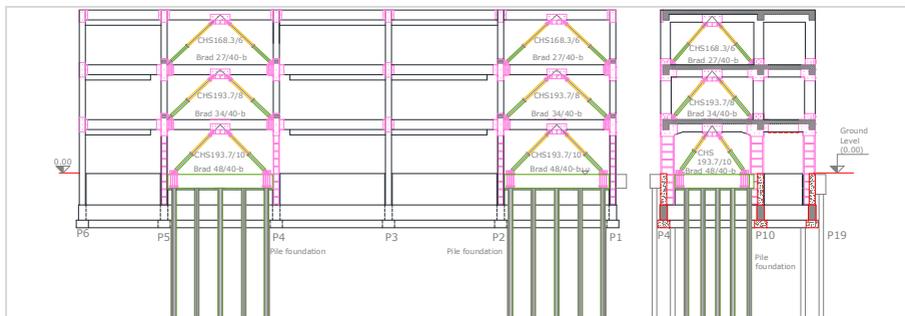


Figura 16: Grafici del progetto di intervento

I dispositivi utilizzati riproducono una novità nel panorama dei controventi dissipativi, in quanto, rappresentano speciali sistemi di protezione sismica di tipo passivo, che mostrano, rispetto ai controventi tradizionali, una maggiore capacità dissipativa, quando sottoposti a deformazioni inelastiche di tipo ciclico come quelle indotte dalle azioni sismiche. Essi, infatti, sono caratterizzati da un comportamento isteretico completamente dissipativo e non degradante con il numero di cicli, sia se sollecitati a trazione sia a compressione. In tal modo si dissipa gran parte dell'energia di ingresso indotta dal sisma comportando ciò un sostanziale aumento della capacità della struttura di resistere a tali eventi. Inoltre, questa tecnologia limitando fortemente gli spostamenti di interpiano, consente di ridurre i danni alle parti non strutturali dell'edificio, oltre che, ovviamente alle strutture portanti, diminuendo di molto le spese di ripristino funzionale successivamente ad un terremoto anche di media intensità.

L'utilizzo dei controventi permette di massimizzare il livello di sicurezza e al contempo di minimizzare i costi limitando al minimo gli interventi sugli elementi strutturali esistenti nonché consente di ottenere una grande flessibilità e adattabilità grazie alla possibilità di inserirli lungo il perimetro dell'involucro o nascosti all'interno di divisori interni tra ambienti. Quest'ultima caratteristica è fondamentale in fabbricati, quali le scuole, per i quali il mantenimento della disposizione delle divisioni interne è spesso molto importante per la conservazione della distribuzione delle funzioni esistenti e delle reti impiantistiche.

La realizzazione dell'intervento ha comunque presentato alcune difficoltà operative, in quanto l'installazione dei controventi e delle opere connesse (fondazioni su pali per i controventi, rinforzo dei nodi e dei pilastri del piano terra delle maglie di telaio controventate) ha inevitabilmente comportato la demolizione e la ricostruzione localizzata degli elementi non strutturali interferenti (quali tamponature e divisori).

Tuttavia, tale circostanza, oltre che per esigenze manutentive, è stata sfruttata anche come occasione per conferire all'intervento una forte valenza educativa.

Difatti è stato scelto di ricostruire le tamponature dei prospetti in posizione arretrata rispetto alla ubicazione originaria, e di ricostruire i divisori tra le aule creando botole di ispezione in plexiglass al fine di rendere “visibile” l’intervento sia esternamente che internamente all’edificio. Tutto ciò è stato pensato con l’obiettivo di sensibilizzare i giovani alunni rendendoli consapevoli di vivere in una zona sismica ma allo stesso tempo di frequentare una scuola sicura, e facendo loro conoscere l’esistenza di tecnologie innovative in grado di migliorare le condizioni di sicurezza.



Figura 17: Nuove fondazioni su pali



Figura 18: Piastra di aggancio dei controventi alle nuove fondazioni



Figura 19: Piastra di collegamento controventi alla trave esistente



Figura 20: Controventi dissipativi isteretici



Figura 21: Ricostruzione dei divisori



Figura 22: Dispositivi “a vista” nelle aule



Figura 23: Prospetto dell’edificio post-intervento

I Direttori Tecnici di **Aires Ingegneria srl** – ingg. **Pasquale Crisci, Gennaro Di Lauro, Gianfranco Laezza** – hanno acquisito una corposa esperienza nel settore delle OO.PP. con particolare specializzazione nello svolgimento di servizi relativi alla Ingegneria Strutturale e Sismica. Sono stati svolti, negli ultimi 10 anni, numerosi incarichi sia di progettazione di adeguamento/miglioramento sismico e rifunzionalizzazione di edifici pubblici esistenti per un importo lavori di circa 20 mln di euro (n° 18 scuole, n° 2 caserme, n° 1 sede di Protezione Civile, n° 2 residenze universitarie), sia di verifica di vulnerabilità sismica di oltre 130 edifici esistenti per una volumetria superiore a due milioni di metri cubi (n° 60 edifici scolastici, n° 30 caserme, n° 20 strutture sanitarie-ospedaliere, n° 20 edifici pubblici tra municipi, camere di commercio e residenze universitarie).

L'esperienza e la preparazione scientifica acquisita nel settore della Ingegneria Sismica ha permesso anche l'acquisizione di commesse estere, in particolare nel settore dell'analisi di vulnerabilità e protezione sismica di edifici pubblici e scuole; si segnalano a titolo di esempio le recenti esperienze in paesi ad alta sismicità quali Pakistan, Bhutan, Kyrgyzstan e Filippine.

Riferimenti bibliografici e altre fonti

- L.S. JACOBSEN, "Steady forced vibrations as influenced by damping," *ASME Transaction* 52 (1), 69-181, 1930.
- J.B. MANDER, M.J.N. MANDER, R. PARK, "Theoretical stress-strain model for confined concrete", *Journal of Structural Engineering*, 114 (8), pp.1804–1826, 1988.
- P. FAJFAR, "Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra", *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 28, 979-993, 1999.
- Comité Européen de Normalisation CEN, EN1998, *Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures*, European Communities for Standardization, Brussels, Belgium, 2004.
- FEMA, *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures*, prepared by the Applied Technology Council (ATC-55 Project), FEMA 440, published by the Federal Emergency Management Agency, Washington, 2005
- NTC 2008, *Norme Tecniche per le Costruzioni*, D.M. Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008.
- M. FERRAIOLI, D. ABRUZZESE, L. MICCOLI, A. VARI, G. DI LAURO, "Structural identification from environmental vibration testing of an asymmetric-plan hospital building in Italy", *Proc. of Int. Conference Urban Habitat Constructions under catastrophic events*, Napoli, 1, 981-986, 2010.
- M. MAZZA, A. VULCANO, "Design of hysteretic damped braces to improve the seismic performance of steel and RC framed structures", *Ingegneria Sismica*, 31(1):5–16, 2014.
- M. FERRAIOLI, "Case study of seismic performance assessment of irregular RC buildings: hospital structure of Avezzano (L'Aquila, Italy)", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 14, 141-156, 2015.