

## L'isolamento sismico di un edificio scolastico esistente in cemento armato

La scuola elementare “Quasimodo”, ubicata a Riposto a circa 30 km da Catania, è stata costruita in opera in c.a. sul finire degli anni 70. A causa delle inopportune originarie scelte progettuali, l'edificio si presenta da un punto di vista strutturale (Figg. 1,2), seppur con un asse di simmetria, irregolare in pianta in quanto sostanzialmente costituito da due corpi a pianta quadrata collegati da un disimpegno centrale contenente i collegamenti verticali. Planimetricamente si estende per circa 55 m nella direzione maggiore e per circa 25 m in quella minore con una superficie coperta di circa 800 mq con due piani fuori terra ed un piano seminterrato per un volume complessivo di circa 8.000 mc. La struttura in c.a. gettata in opera è composta da travi, pilastri e solai in latero cemento con fondazioni dirette.

Il progetto di miglioramento delle prestazioni sismiche di un edificio come quello in oggetto, caratterizzato da insufficiente duttilità e resistenza, è stato ulteriormente complicato in questo caso dall'aver riscontrato calcestruzzi di qualità inferiore a quanto previsto in fase progettuale e dalla volontà progettuale di evitare interventi diffusi all'interno dei piani destinati alla didattica i quali avrebbero comportato notevoli problemi legati ai ripristini ed alle finiture.

Partendo da tali considerazioni e potendo sfruttare il piano seminterrato destinato a deposito si è optato per intervenire mediante l'isolamento sismico alla base dell'edificio mediante isolatori elastomerici e isolatori a scorrimento.

### Indagini e verifiche preliminari

Essendo riusciti ad entrare in possesso solo parzialmente della documentazione relativa al progetto strutturale originale, propedeuticamente all'avvio della fase progettuale si è avviata una campagna di indagini diagnostiche, basata su un accurato rilievo geometrico e strutturale (travi, pilastri e fondazioni) e su sondaggi finalizzati ad individuare l'armatura presente, i particolari dei nodi, nonché le caratteristiche meccaniche dei materiali ed il relativo stato di degrado. Il progetto del piano di indagini è stato redatto al fine di raggiungere un livello di conoscenza LC2 secondo quanto previsto dall'O.P.C.M. 3274. Le verifiche strutturali dello stato di fatto hanno evidenziato, coerentemente a quanto previsto, una insufficienza della struttura di resistere alle azioni di progetto relative alle nuove costruzioni.



Figura 1. Vista d'insieme della scuola “Quasimodo”

L'edificio è collocato in una zona pianeggiante ad una distanza di circa 500 m della fascia costiera ionica. Le indagini geologiche svolte in situ hanno evidenziato la presenza, come terreno di fondazione, di litotipi sabbiosi alluvionali costituiti da materiali detritici eterogenei di natura alluvionale costituiti da sabbie limose, ghiaie e conglomerati di natura prevalentemente vulcanica che possono essere classificati, ai sensi della OPCM 3274 e smi, come terreni di tipo B. Il comune di Riposto è classificato in zona sismica di II categoria con  $PGA=0,25$  g.

### Il progetto

Date le problematiche sopra descritte, e vista la configurazione dell'edificio dotato di piano interrato, la scelta più opportuna è risultata essere quella dell'adozione dell'isolamento alla base posizionando gli isolatori proprio al di sotto dell'impalcato a piano terra. Trattandosi di un edificio esistente ed avendo effettuato la scelta progettuale di non intervenire nella sovrastruttura l'obiettivo è stato di ridurre il più possibile il valore delle forze trasmesse alla sovrastruttura incrementando quanto più possibile il periodo proprio di vibrare cercando al contempo di tenere sotto controllo gli spostamenti.

La progettazione è stata ulteriormente complicata dalla irregolarità e dalle notevoli dimensioni planimetriche dell'edificio (circa 50 m) che hanno richiesto diverse iterazioni prima di pervenire alla soluzione definitiva. Ci si è posto inoltre l'obiettivo di utilizzare quanto meno tipologie di isolatori possibili per ridurre il costo della fornitura e delle prove che risulta relativamente alto dato il non elevato numero di dispositivi di appoggio.

La soluzione finale (Fig. 2) ha previsto l'utilizzo di 33 isolatori elastomerici ad elevato smorzamento del tipo SI-N 400/108 disposti lungo il perimetro dell'edificio e 16 isolatori a scorrimento multidirezionali tipo "Vasoflon" posizionati in corrispondenza dei pilastri centrali con capacità di carico pari a 1750 KN e scorrimento orizzontale pari a  $\pm 250$  mm.

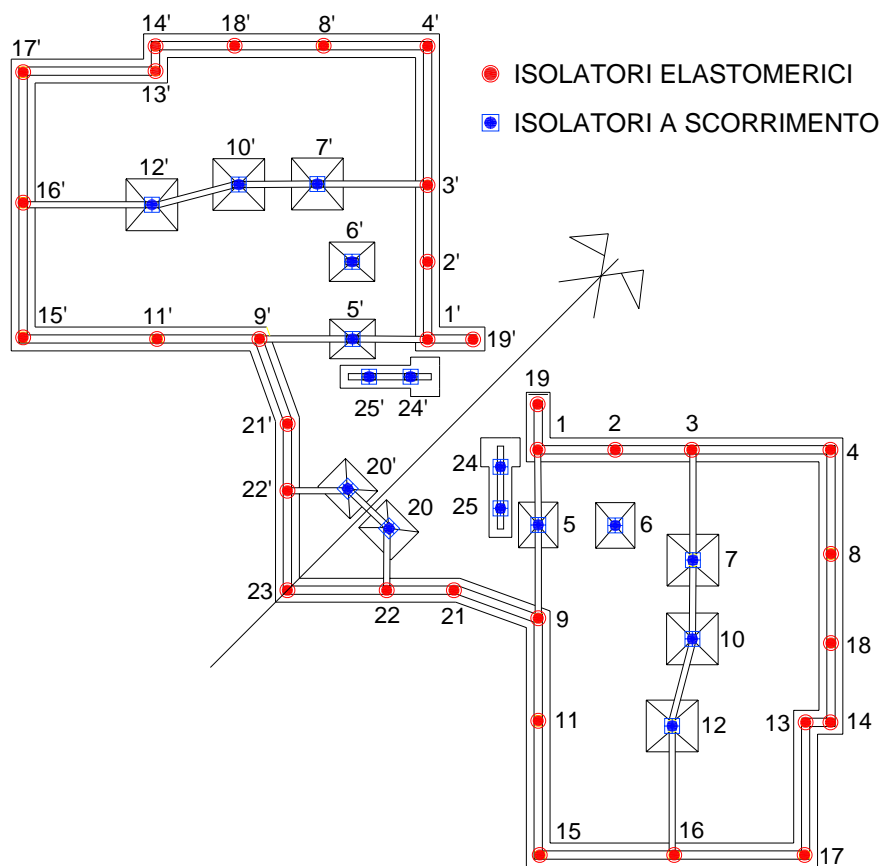


Figura 2. Pianta fondazioni e disposizione isolatori

La disposizione degli isolatori e degli appoggi è stata ottimizzata al fine di eliminare gli effetti torsionali onde ottenere dei modi di vibrare pressoché traslazionali. Gli isolatori elastomerici sono caratterizzati da rigidità equivalente pari a 0,93 kN/mm, diametro 400 mm, altezza totale della gomma 108 mm, miscela elastomerica con modulo di taglio dinamico  $G_{din}=0,80$  MPa e smorzamento viscoso equivalente pari a circa 15 %.

L'edificio ha una massa totale  $M_t = 2.238$  t, mentre il sistema di isolamento ha una rigidità orizzontale totale  $K_t = 30.583$  kN/m (trascurando la rigidità equivalente degli sliders). Il periodo proprio di vibrazione della struttura isolata è di 1,71 s, pari a 3 volte il periodo proprio della struttura a base fissa. Lo spostamento massimo di calcolo per il dispositivo maggiormente sollecitato ( $dc_2$  comprensivo del coefficiente moltiplicativo pari ad 1,20) risulta pari a 205 mm, mentre lo spostamento di progetto per gli isolatori è pari a 210 mm. Come previsto dalle OPCM 3274 e 3431, oltre alle prove di accettazione su 7 dispositivi sono state effettuate prove di qualificazione su due isolatori in scala 1:1.

Trattandosi di un intervento su un edificio esistente particolare attenzione è stata posta alle fasi costruttive necessarie per poter inserire agevolmente ed in sicurezza i dispositivi di appoggio. Lo studio dettagliato delle varie fasi, opportunamente calibrato alle differenti situazioni riscontrate in fase esecutiva, ha consentito la posa dei dispositivi nei tempi previsti, senza imprevisti e nel più assoluto rispetto della sicurezza in tutte le varie fasi di lavorazione. Nelle figure 3 e 4 si riportano alcune immagini relative alle fasi realizzative.

Particolare attenzione è stata inoltre posta all'adeguamento dei giunti strutturali, degli impianti tecnologici e degli elementi non strutturali. A tal proposito va fatto notare come essendo l'edificio realizzato a ridosso di strutture esistenti (corpo ascensore, pensiline) si è provveduto a creare un giunto tale da consentire uno spostamento orizzontale massimo pari a 250 mm, mentre si è proceduto alla eliminazione di diverse scale di accesso diretto alle aule dal piano di campagna. Infine volendo consentire l'utilizzo del piano seminterrato per destinazioni anche diverse da deposito si è previsto l'avanzamento degli infissi verso l'esterno creando una soletta a sbalzo intorno l'edificio.

### **Confronto tra soluzione a base fissa e soluzione isolata**

Al fine di confrontare il comportamento della struttura isolata con quella a base fissa, sono state condotte una serie di analisi, utilizzando come input sismico uno spettro di progetto ricavato dalla vigente normativa, ed assumendo un fattore di struttura pari a 3,0. La riduzione di forze sismiche è evidente se ci si riferisce al taglio totale alla base dell'edificio che passa da circa 5.800 kN, nel caso della struttura a base fissa, a circa 2.900 kN nella struttura isolata.

Oltre alle considerazioni basate sul tagliante alla base si è proceduto ad una estesa campagna di analisi non lineari le quali hanno consentito di determinare come mediante l'intervento proposto si è riusciti ad innalzare le caratteristiche resistenti della struttura da circa il 35% dello stato ante intervento ad un livello prossimo al 95% con l'intervento proposto.

### **Conclusioni**

Gli studi condotti hanno mostrato l'elevata efficacia della tecnica dell'isolamento sismico nel migliorare la protezione sismica degli edifici scolastici esistenti. Inoltre, seppure tale tecnica non sempre sia applicabile, o rappresenta la migliore soluzione, in situazioni come il caso in oggetto ha consentito di effettuare l'intervento senza dover intervenire in maniera diffusa all'interno degli ambienti destinati alle attività didattiche. Riuscendo così a ridurre sia l'invasività dell'intervento che l'interferenza con il regolare svolgimento delle attività svolte.

Il costo dei soli lavori relativi all'intervento di miglioramento strutturale (inclusi anche finiture e ripristini), effettuato tramite l'intervento di isolamento sismico, è stato pari a circa 350k € con una incidenza di circa 45 €/mc di edificio. Questi valori di costo, se rapportati anche al livello di incremento delle prestazioni sismoresistenti, consentono di affermare come la tecnica dell'isolamento sismico su edifici esistenti, rispetto ad altre tecniche di intervento, consente di raggiungere elevati rapporti in termini benefici-costi.



Figura 3. Fasi realizzative preliminari al taglio dei pilastri ed inserimento degli isolatori elastomerici



Figura 4. Ringrosso dei pilastri centrali ed inserimento degli isolatori a scorrimento