

Adeguamento sismico e ristrutturazione edilizia della Scuola Media “Marco Polo” di Crevalcore (BO)

Giovanni Maini¹, Giovanni Stagni¹, Paolo Giovannini¹, Andrea Sereni¹, Gabriele Vaccari¹, Cristian Dalmonte¹ ■



Nome dell’opera/progetto:

Scuola Media “Marco Polo”, adeguamento sismico e ristrutturazione edilizia

Ubicazione:

Via Guisa, Crevalcore (BO)

Committente:

Comune di Crevalcore - Area Tecnica

Progettazione Strutturale:

Paolo Giovannini

Supporto alla progettazione:

Andrea Sereni, Gabriele Vaccari, Cristian Dalmonte

Anno completamento lavori:

2014

1. Sommario

L’intervento riguarda il ripristino, con adeguamento sismico, dell’immobile di proprietà del Comune di Crevalcore che ospita la scuola media Marco Polo, danneggiato in seguito agli eventi sismici del maggio 2012.

L’edificio presentava un esito di agibilità “E”, dovuto ai livelli di vulnerabilità sismica riscontrati nel complesso strutturale costituito da elementi prefabbricati in c.a..

L’obiettivo principale erano pertanto la riparazione dei danni e la realizzazione di interventi atti a conseguire l’adeguamento sismico, comprese le opere di finitura connesse con tali interventi.

Sono stati inoltre progettati ed eseguiti interventi per il miglioramento e adeguamento energetico dell’edificio: sostituzione infissi esterni con inserimento di veneziane esterne, cappotto su tutte le pareti esterne, impianto fotovoltaico in copertura e pannelli solari sulla centrale termica.

La scuola è stata inoltre ripensata a livello dell’organizzazione funzionale interna, riorganizzando gli spazi e recuperando nuove superfici con l’inserimento di un soppalco e la realizzazione di una tettoia esterna.

¹ Studio sgLab S.a.s., Via Magenta 9, 40128 Bologna

2. Premessa

1.1 Inquadramento generale

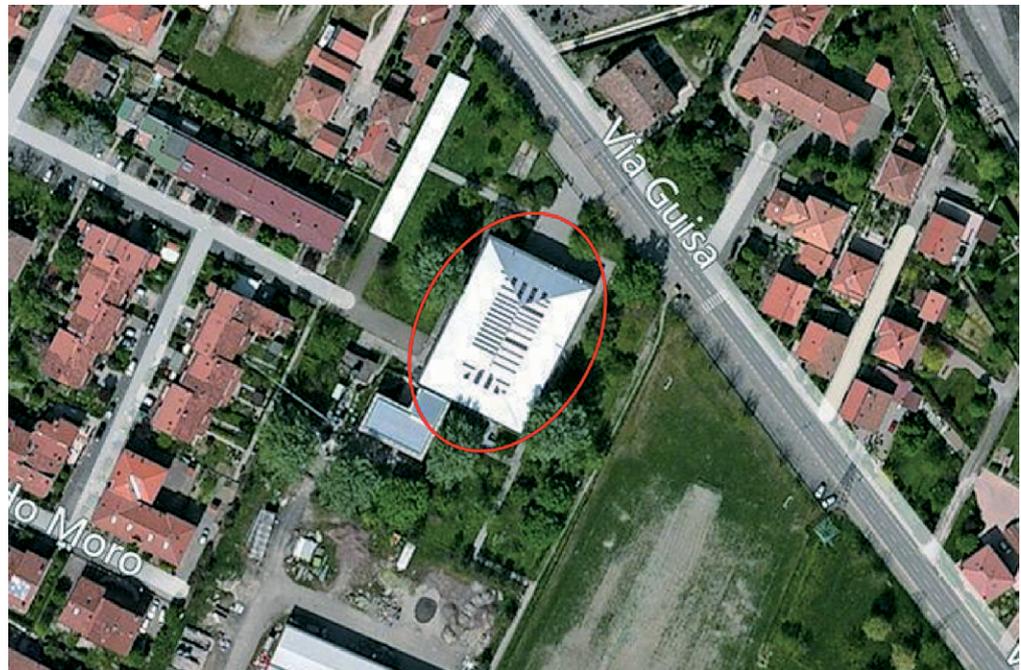
L'intervento riguarda il ripristino, con adeguamento sismico e la ristrutturazione edilizia, dell'immobile di proprietà del Comune di Crevalcore che ospita la scuola media Marco Polo, danneggiato in seguito agli eventi sismici del maggio 2012.

L'edificio presentava un esito di agibilità "E", dovuto ai livelli di vulnerabilità sismica riscontrati nel complesso strutturale costituito da elementi prefabbricati in c.a..

Gli obiettivi principali erano pertanto la riparazione dei danni provocati dall'evento sismico e la realizzazione di interventi atti a conseguire il miglioramento sismico (al 60%) del fabbricato. Contestualmente l'Amministrazione ha richiesto interventi volti alla riqualificazione funzionale e prestazionale dell'edificio.

Considerato che i danni provocati dal sisma riguardavano sostanzialmente le tramezzature interne, gli interventi di riparazione, intesi come ricostruzione delle partizioni danneggiate, sono stati interpretati come occasione per riposizionare gli stessi nel rispetto delle esigenze funzionali espresse dall'utenza e riqualificare gli elementi costruttivi ed impiantistici nel rispetto delle normative vigenti. Dette esigenze hanno rilevato la necessità di prevedere la realizzazione di un nuovo soppalco interno, che, configurandosi come ampliamento, ha richiesto necessariamente l'adeguamento sismico della costruzione.

Figura 1
Inquadramento.



1.2 Edificio esistente e danni riscontrati

L'edificio scolastico è costituito da un fabbricato a pianta rettangolare di dimensioni di circa 46,5 m x 34 m, a due piani fuori terra più il coperto; l'interno è caratterizzato dalla presenza di un doppio volume centrale che ospita la scala (a giorno) prospiciente l'ingresso e l'auditorio (con tribuna) sul lato opposto. L'edificio è stato recentemente affiancato da un ampliamento, strutturalmente indipendente, non danneggiato dal sisma.

Le strutture del fabbricato, realizzate nel 1979, sono costituite da pilastri e travi prefabbricate in c.a. collegate da pannelli di solaio in laterocemento preintonacati.

Le fondazioni sono state realizzate con plinti isolati gettati in opera, dotati di "bicchiere" per l'alloggiamento dei pilastri.

I pilastri prefabbricati, dotati di tre ordini di mensole (piani rialzato, primo e coperto), sostengono le travi prefabbricate degli allineamenti longitudinali interni ed i "pannelli-trave" degli allineamenti perimetrali, ugualmente prefabbricati. Lo schema statico dei pilastri è pertanto costituito da mensole incastrate alla base e libere di deformarsi (nel caso di azioni sismiche orizzontali) come se i tre livelli di solaio non esistessero, provocando gravi danneggiamenti alle tramezzature interposte.

Le travi ed i pannelli-trave sono collegati "a secco" alle mensole dei pilastri. L'efficacia di tali collegamenti, nei confronti di azioni orizzontali, è pertanto affidata al solo attrito mensola/trave, efficace solo nei confronti di azioni sismiche non particolarmente elevate.

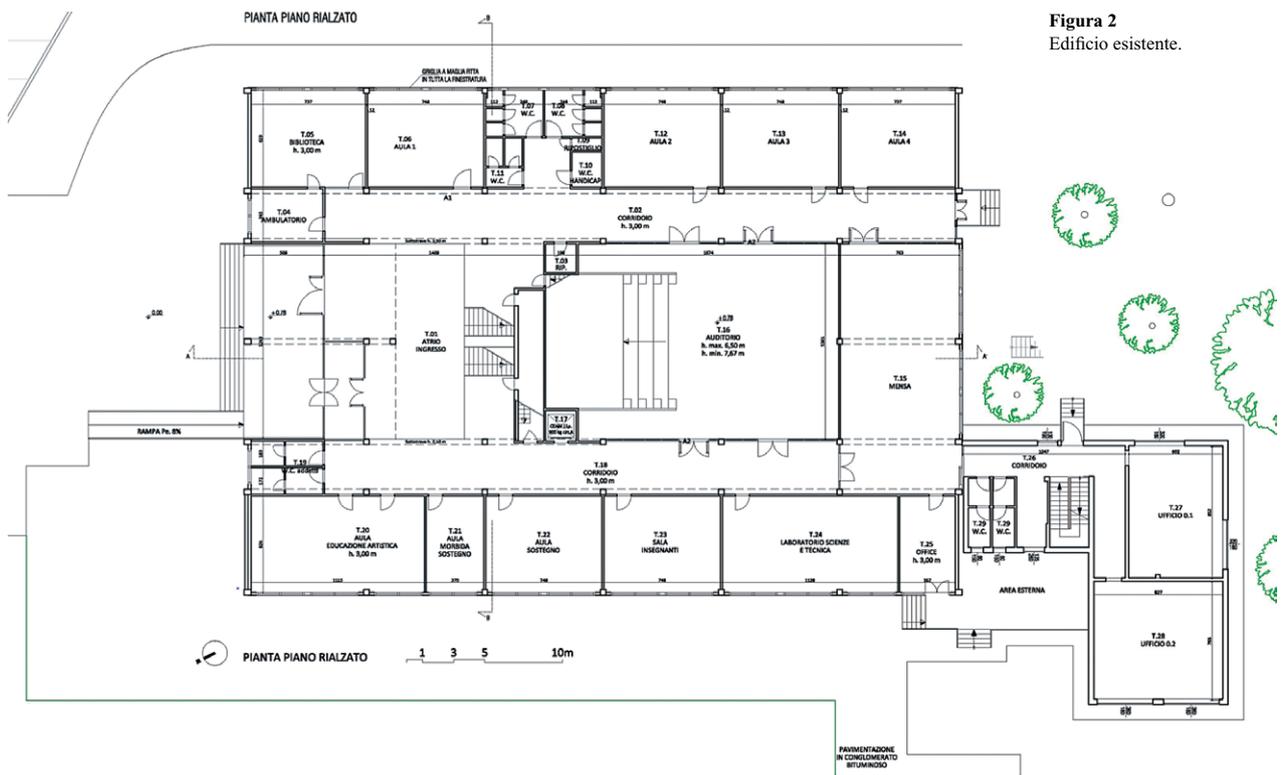


Figura 2
Edificio esistente.



Figura 3
Strutture di fondazione.



Figura 4
Danni alle tramezzature.

Figura 5
Collegamenti travi-pilastrini
"a secco".



I solai, realizzati con pannelli in laterocemento preintonacati, sono privi di soletta irrigidente in c.a. La stabilità orizzontale dei solai, nel caso di azioni sismiche, risulta fortemente compromessa, rendendo possibile lo scorrimento dei pannelli di solaio fra di loro e lungo l'appoggio degli stessi alle travi portanti. Inoltre, i solai del piano primo e del coperto sono penalizzati dalla presenza dell'apertura centrale.

Il doppio volume centrale è coperto da "copponi" prefabbricati in c.a.p. di sezione sottile, a forma di S stilizzata, orditi su luce doppia e collegati "a secco" alle travi longitudinali di bordo del doppio volume.

L'efficacia di tali collegamenti, nei confronti di azioni orizzontali, è pertanto affidata al solo attrito coppone/trave, efficace solo nei confronti di azioni sismiche non particolarmente elevate.

Figura 6
Scorrimento pannelli di
solaio.



2. Progetto strutturale

2.1 Criteri di progetto e di verifica

Nella progettazione strutturale si sono adottate le norme tecniche vigenti, in particolare il D.M. 14 gennaio 2008 (di seguito NTC) e la Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 (di seguito Circolare).

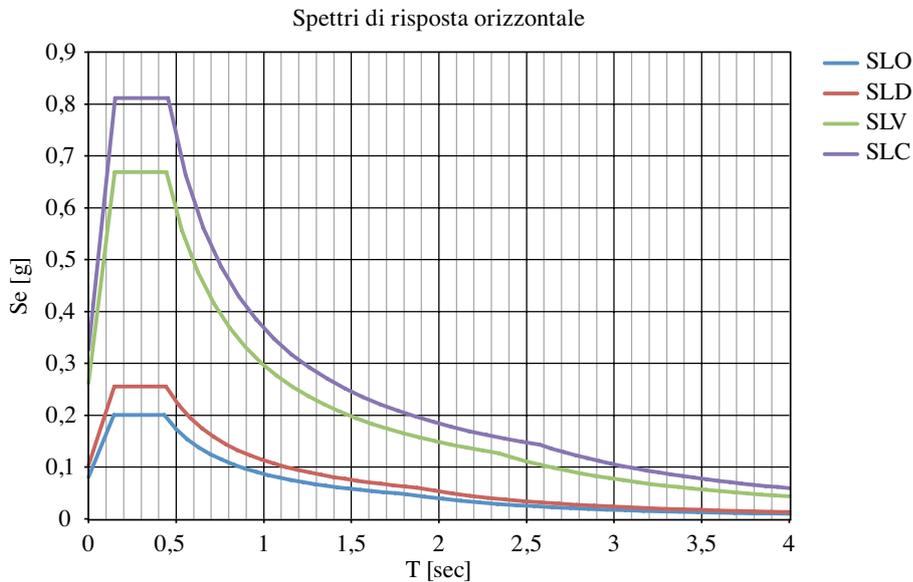


Figura 7
Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite.

Sono state considerate una vita nominale di 50 anni (opere di importanza normale) e una classe d'uso pari a III (costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, $C_U = 1,5$). Il periodo di riferimento risulta pertanto pari a $V_R = V_N \cdot C_U = 75$ anni. Essendo poi "C" la categoria di sottosuolo, si sono ottenuti, per gli stati limite previsti dalla normativa, gli spettri di risposta elastici riportati in Figura 7.

2.2 Indagini strutturali conoscitive

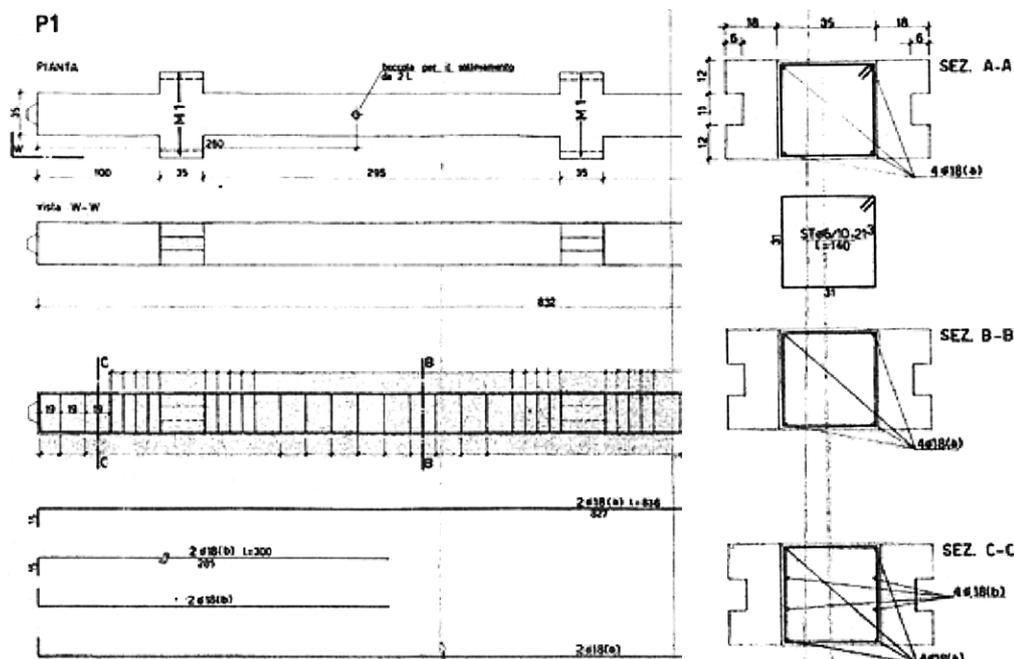


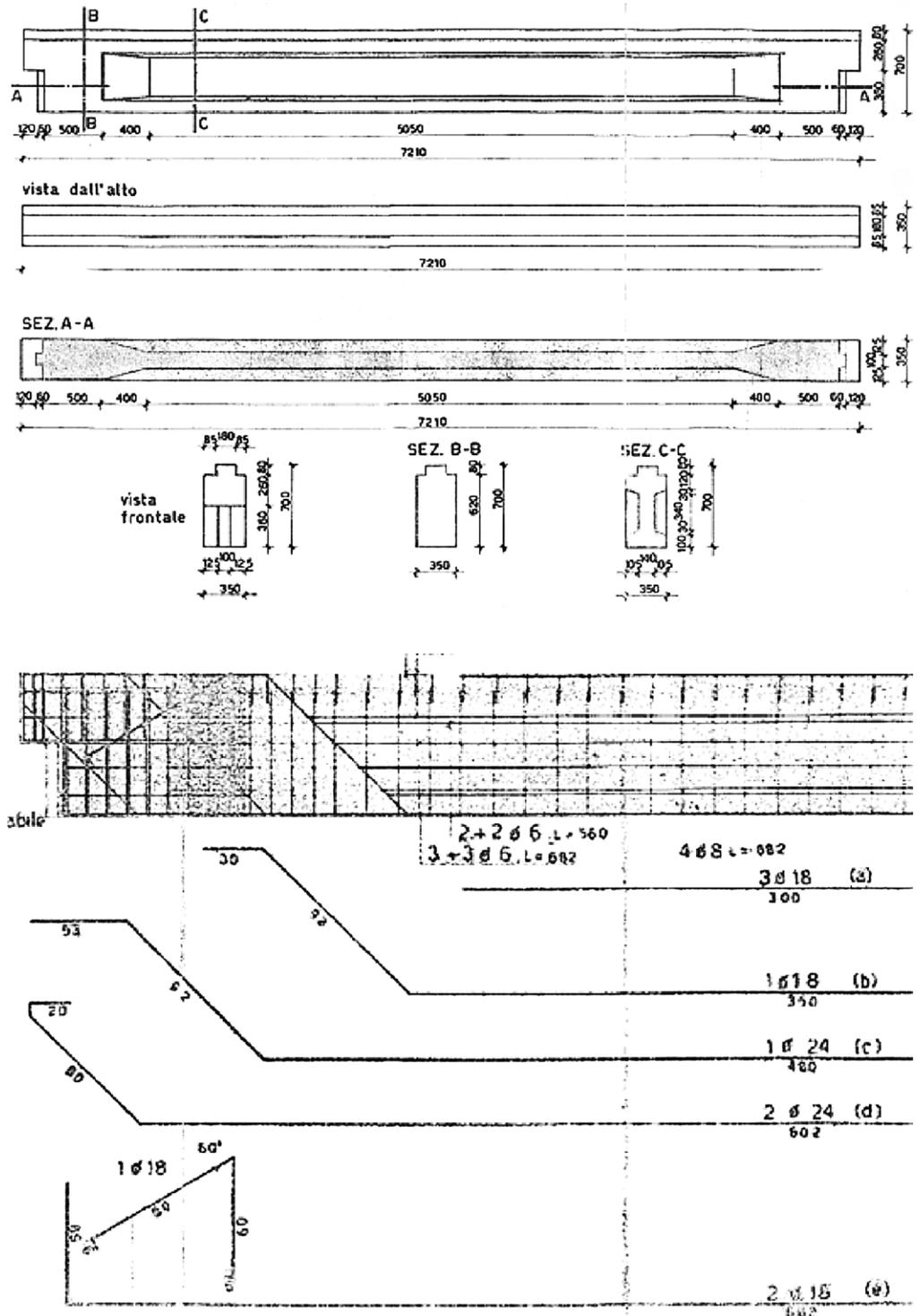
Figura 8
Stralcio dei disegni di progetto originali: pilastro.

La *geometria della struttura* è nota dai disegni di progetto originali. È stato effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni.

I *dettagli costruttivi* sono anch'essi noti dai disegni di progetto originali. Con riferimento alla tabella orientativa C8A.1.3a della Circolare n. 617 del 02-02-2009, è stata effettuata una limitata verifica in-situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti.

Le informazioni sulle *caratteristiche meccaniche dei materiali* sono disponibili in base ai disegni costruttivi originali. Con riferimento alla tabella orientativa C8A.1.3a della Circolare, sono poi state eseguite estese prove in-situ, consistenti in una

Figura 9
Stralcio dei disegni di progetto originali: trave.



serie di prove distruttive (prelievo e prove di laboratorio di 9 carote di calcestruzzo e di altrettanti campioni di armatura) e in un appropriato numero di prove non distruttive tarate su quelle distruttive (sclerometro per il calcestruzzo, durometro per le armature). Le prove hanno sostanzialmente confermato le qualità dei materiali riportate sui disegni costruttivi originali (calcestruzzo per strutture gettate in opera Rck250; calcestruzzo per strutture prefabbricate Rck400; acciaio da cemento armato normale tipo FeB44K).

Il livello di conoscenza acquisito è pertanto classificabile come LC3: Conoscenza Accurata. Il fattore di confidenza da applicare alle proprietà di tali materiali è quindi $FC = 1,00$.

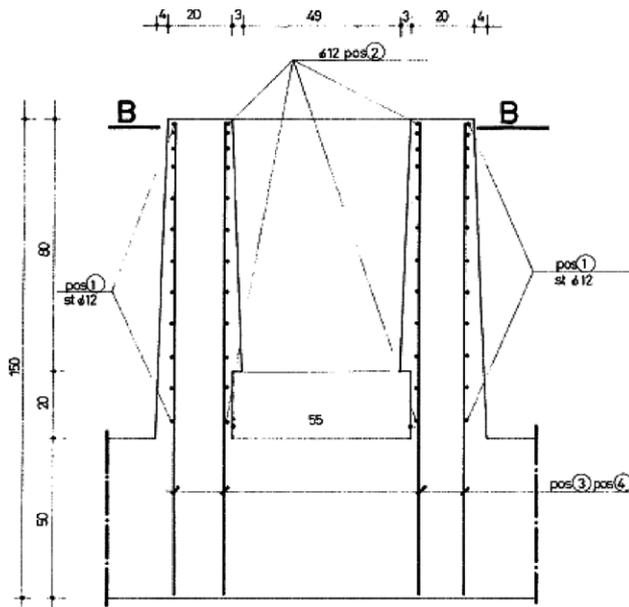


Figura 10
Stralcio dei disegni di progetto originali: plinto.



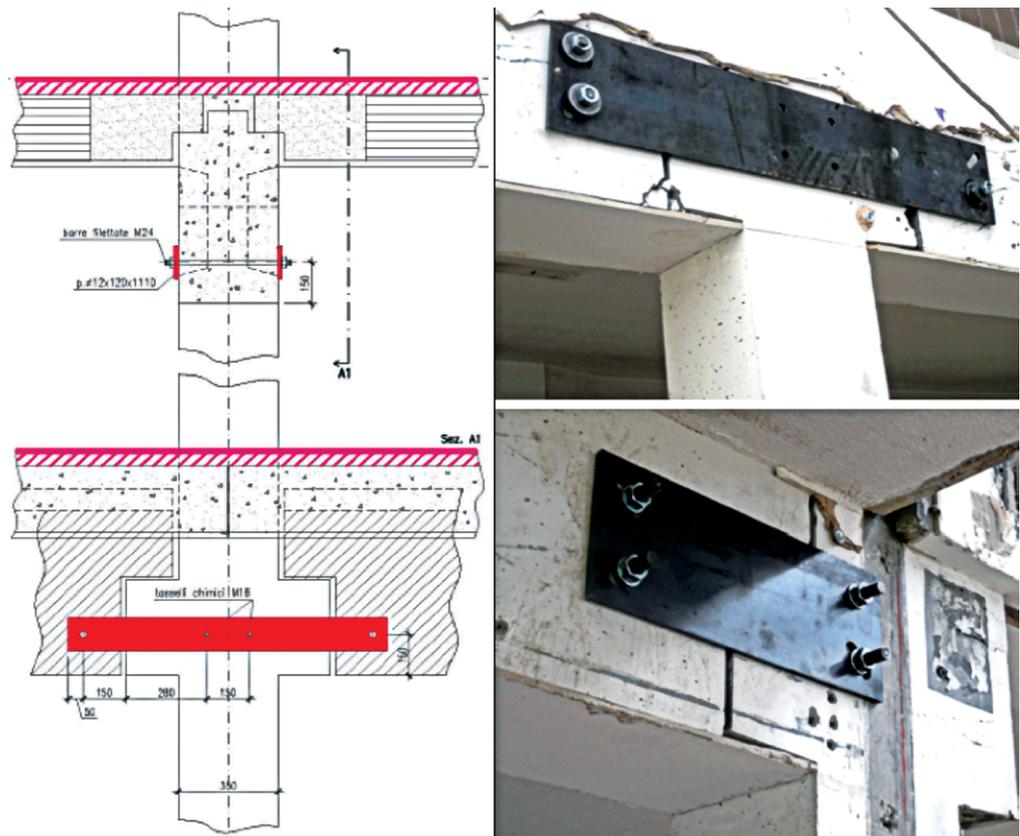
Figura 11
Indagini in-situ.

2.3 Interventi

Gli interventi di adeguamento sismico progettati per l'edificio in oggetto sono in gran parte riconducibili agli interventi normalmente adottati per gli edifici industriali monopiano realizzati con struttura prefabbricata in c.a., come si evince da quanto sinteticamente riportato di seguito:

1. Realizzazione dei collegamenti fra travi e pilastri, che, nel caso specifico, sono stati estesi ai tre livelli di solaio (piano rialzato, primo e coperto) ed ai copponi di coperto.

Figura 12
Collegamenti trave-pilastro.



2. Realizzazione dei collegamenti fra pannelli di tamponamento e strutture portanti, che, nel caso specifico, non sono risultati necessari, in quanto i tamponamenti sono costituiti da pannelli-trave, già saldamente collegati (alla base) ai solai portati; si sottolinea inoltre che gli esistenti collegamenti superiori fra pannello e pilastro (utilizzati in fase di montaggio) sono stati rimossi, per evitare, in caso di sisma, il danneggiamento e successivo collasso dei pilastri, resi impropriamente corti.
3. Adozione di provvedimenti che conferiscano un'adeguata rigidità orizzontale ai solai, costituiti dalla realizzazione di una soletta armata al posto del sottofondo dei pavimenti esistenti o del massetto pendenzato del coperto; l'attenuazione della deformabilità orizzontale del coperto è da intendersi attuata attraverso la realizzazione dei collegamenti fra copponi e travi di bordo (Figura 13).
4. Adozione di provvedimenti che rendano efficaci i collegamenti fra i plinti isolati, costituiti dal collegamento previsto fra i pilastri e le travi longitudinali dello stesso piano, di cui al punto 1, avendo riconosciuto come efficaci i collegamenti trasversali esistenti, costituiti dalle armature aggiuntive presenti in ogni travetto dei pannelli di solaio.

Quanto alla necessità di ridurre l'eccessiva deformabilità dei pilastri e di aumentarne la resistenza, intervento fondamentale per conseguire l'adeguamento sismico, si sono esaminate le seguenti due possibilità:

1. Procedere al rinforzo di tutti pilastri, alla base, per aumentarne la resistenza, ed in gran parte dell'elevazione, per ridurre la deformabilità.
2. Realizzare almeno quattro pareti irrigidenti (da realizzarsi in acciaio o c.a.) da posizionarsi a coppie per ogni direzione principale, di rigidità tale da contenere le deformabilità e le sollecitazioni di tutti i pilastri a valori accettabili.

La prima soluzione risultava molto invasiva, coinvolgeva numerose opere complementari (tramezzi, controsoffitti, impianti) e protraeva i tempi di realizzazione.

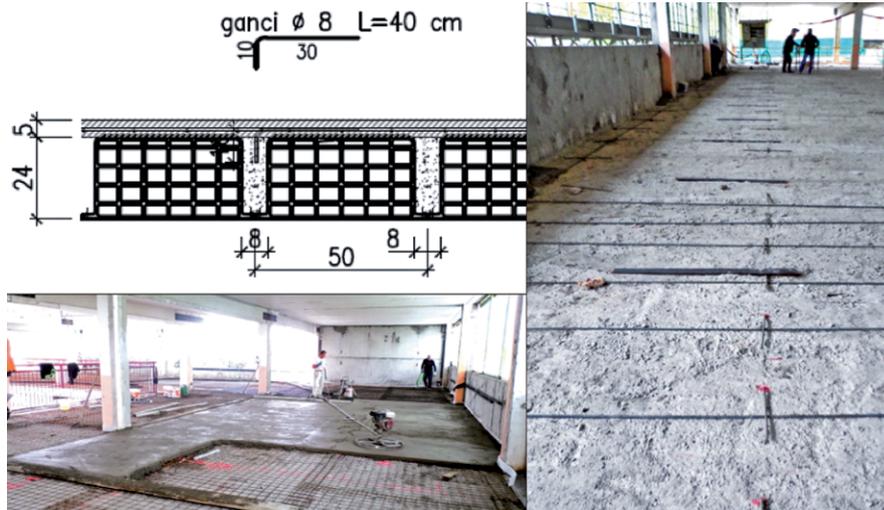


Figura 13
Irrigidimento solai.

La seconda soluzione, che coinvolge solo le fondazioni specifiche, è risultata meno invasiva, meno onerosa per il minor tempo di realizzazione ed ha consentito di non intervenire sui pilastri e sulle relative fondazioni.

Considerata la necessità di terminare i lavori in tempi brevi, per consentire l'uso del fabbricato già per l'anno scolastico 2014-2015, si è adottata la 2ª soluzione consistente nella realizzazione di due pareti trasversali esterne in c.a. lungo le testate (al posto di due pareti cieche esistenti) e di due pareti longitudinali interne in c.a. ai lati della sala riunioni. Le pareti, destinate a ricevere la gran parte delle sollecitazioni sismiche orizzontali, sono state completate da nuove fondazioni su micropali, avendo scelto di massimizzarne l'efficacia riducendone l'invasività nei confronti delle fondazioni esistenti.

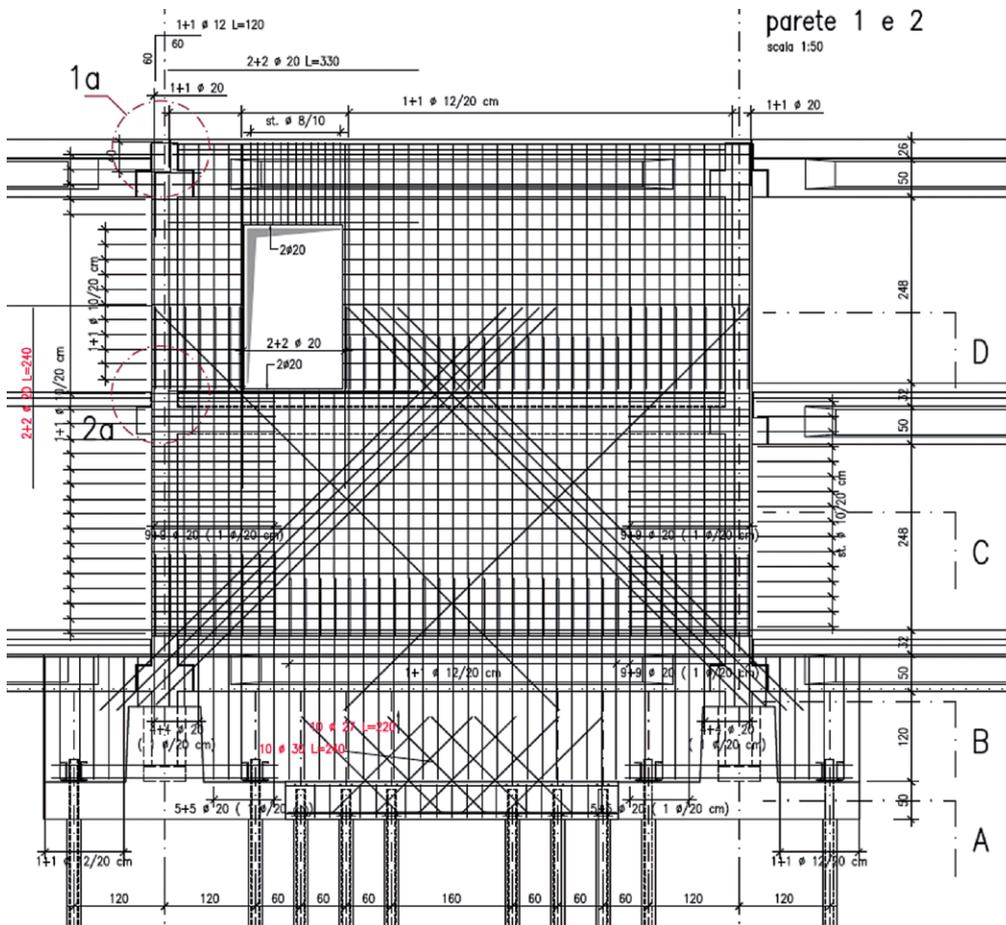


Figura 14
Pareti irrigidite: progetto.

Figura 15
Pareti irrigidenti.



2.4 Criteri di progettazione

Come consentito dalla normativa vigente per le costruzioni esistenti (§ 8.3 delle NTC), la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi possono essere eseguite con riferimento ai soli stati limite ultimi. Essendo la costruzione di Classe III e in virtù dei danneggiamenti subiti dagli elementi non strutturali (tramezzi in muratura) a seguito degli eventi sismici del maggio 2012, si è deciso, in accordo con il committente, di eseguire anche le verifiche in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali. Pertanto, le verifiche in condizioni sismiche sono state eseguite rispetto alle condizioni di salvaguardia della vita umana (SLV) e di operatività (SLO). Le verifiche in condizioni statiche sono state invece eseguite nei soli confronti degli stati limite ultimi (SLU).

Gli effetti dell'azione sismica sono stati valutati mediante un'analisi dinamica modale con fattore q .

Le verifiche delle strutture in elevazione e delle fondazioni esistenti (plinti) sono state eseguite sulla base dei risultati dell'analisi derivanti dal modello di calcolo relativo allo stato di progetto con incastri alla base, quelle delle nuove strutture di fondazione (micropali) sulla base dei risultati derivanti dal modello di calcolo relativo allo stato di progetto comprendente le strutture stesse.

Gli effetti dell'azione sismica sono stati valutati mediante un'analisi dinamica modale con fattore q , adottando un diverso valore dello stesso in funzione del tipo di verifica considerato. In particolare:

- *Stato di fatto*
 - Per le verifiche degli elementi strutturali "duttili" esistenti in c.a. (travi inflesse e pilastri pressoinflessi) la normativa vigente, per il metodo di analisi prescelto, individua un campo di variabilità del fattore di struttura tra 1,5 e 3,0 (§ C8.7.2.4 della Circolare). A favore di sicurezza, si è assunto $q = 1,5$.
 - Per le verifiche degli elementi strutturali "fragili" esistenti in c.a. (taglio nelle travi e nei pilastri) si è assunto $q = 1,5$, come richiesto dalla normativa vigente per il metodo di analisi prescelto.
- *Stato di progetto*
 - Per le verifiche dei nuovi elementi strutturali (pareti controventanti in c.a.) si è fatto riferimento ai valori dei fattori di struttura validi per le nuove costruzioni. Considerando la classe di duttilità bassa (CD"B"), la normativa vigente prescrive $q_0 = 3,0$ per strutture in c.a. a pareti non accoppiate (Tab. 7.4.I delle NTC). Inoltre, per prevenire il collasso delle strutture in seguito alla rottura delle pareti, è necessario ridurre il suddetto valore mediante il fattore $k_w = 0,5 \leq (1 + \alpha_0)/3 \leq 1$, dove α_0 è il valore assunto in prevalenza dal rapporto tra altezze e larghezze delle pareti, che, per l'insieme delle pareti, può essere calcolato assumendo come altezza la somma delle altezze delle singole pareti e come larghezza la somma delle larghezze. Nel caso in esame, $\alpha_0 = (4 \cdot 8,29)/(2 \cdot 6,15 + 2 \cdot 7,95) = 1,176$, quindi $k_w = (1 + 1,176)/3 = 0,72$. Si è pertanto assunto $q = 0,72 \cdot 3,0 = 2,16$.
Per questi elementi sono state applicate le regole di progetto specifiche e di gerarchia delle resistenze indicate dalla normativa vigente per la tipologia strutturale in questione (strutture a pareti non accoppiate).
 - Poiché il sistema strutturale resistente all'azione orizzontale è integralmente costituito da nuovi elementi strutturali (pareti controventanti in c.a.), per le verifiche degli elementi strutturali "duttili" esistenti in c.a. (travi inflesse e pilastri pressoinflessi) è possibile adottare il valore del fattore di struttura valido per la tipologia in questione, ossia, come visto al punto precedente, $q = 2,16$.
 - Per le verifiche degli elementi strutturali "fragili" esistenti in c.a. (taglio nelle travi e nei pilastri) si è assunto $q = 1,5$, come richiesto dalla normativa vigente per il metodo di analisi prescelto.

Con riferimento al § 7.4.5 delle NTC, le verifiche di sicurezza di tutti i collegamenti delle nuove strutture (pareti e solette in c.a.) alle strutture prefabbricate esistenti e di tutte le nuove connessioni trave-pilastro sono state effettuate adottando un adeguato fattore maggiorativo γ_{Rd} , assunto pari a 1,30.

Con riferimento al secondo paragrafo del § 7.2.5 delle NTC, le verifiche di sicurezza delle strutture di fondazione (nuove ed esistenti) sono state effettuate amplificando l'azione sismica con un $\gamma_{Rd} = 1,1$ (CD"B").

Il giunto di separazione tra la struttura in esame e quella adiacente, insufficiente nello stato di fatto, risulta invece adeguato nella situazione di progetto, in virtù della sensibile riduzione degli spostamenti sismici conseguente all'intervento previsto.

2.5 Modellazione

Il calcolo strutturale è stato svolto mediante l'impiego del software "SAP2000 Advanced".

Sono stati elaborati 3 modelli di calcolo: uno per lo stato di fatto e due per lo stato di progetto, nella duplice versione con incastri alla base (per il dimensionamento delle strutture in elevazione e delle fondazioni a plinto esistenti) e con molle (per il dimensionamento dei nuovi micropali). I modelli sono riferiti ad un sistema di coordinate globale X-Y-Z, avente l'asse Z verticale, con +Z rivolto verso l'alto, e gli assi X e Y approssimativamente paralleli rispettivamente alla direzione Nord-Sud e Est-Ovest.

Tutti gli elementi strutturali sono stati schematizzati con elementi monodimensionali tipo "frame", con l'eccezione delle sole nuove pareti controventanti in c.a., schematizzate con elementi bidimensionali tipo "shell".

Figura 16
Modello di calcolo relativo
allo stato di fatto

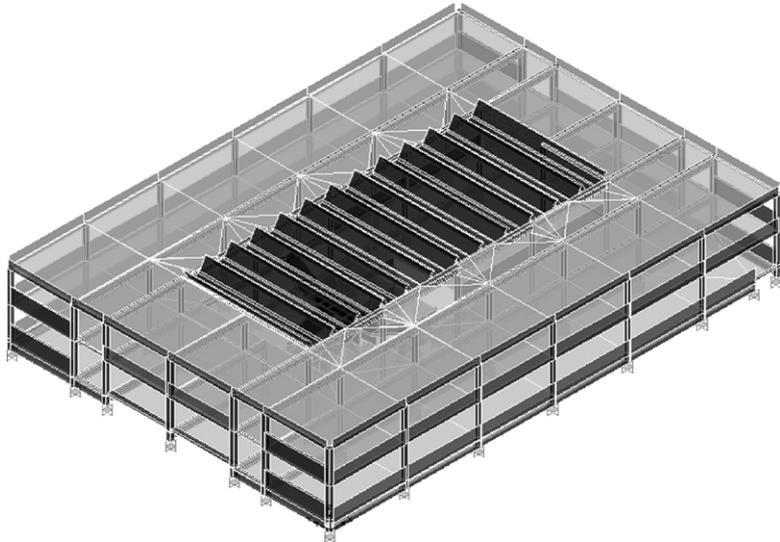


Figura 17
Modello di calcolo relativo
allo stato di progetto con
incastrati alla base.

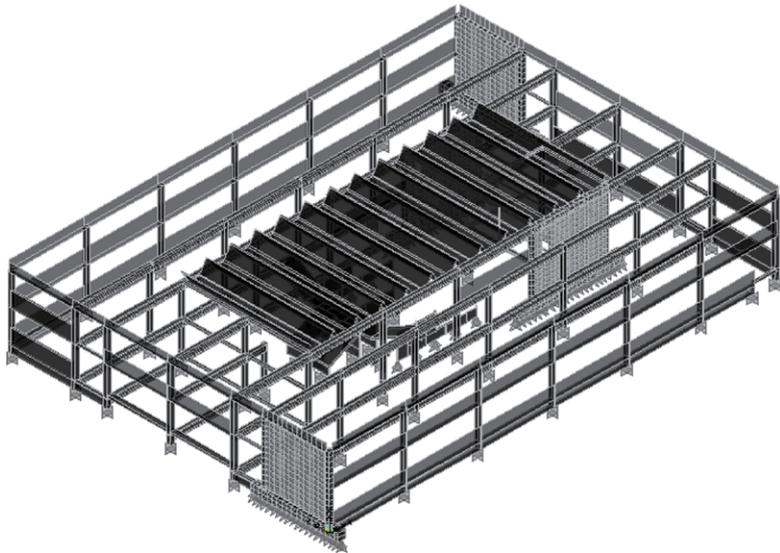
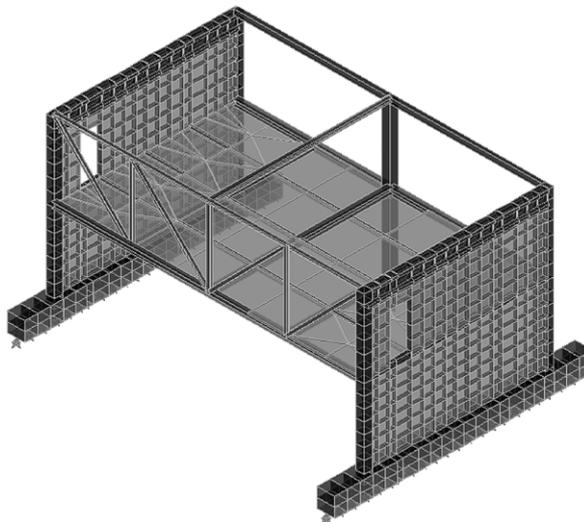


Figura 18
Modello di calcolo relativo
allo stato di progetto:
particolare del nuovo
soppalco.



Le travi prefabbricate in c.a. sono state considerate incernierate alle estremità.

La rigidità degli impalcati è stata simulata inserendo, a schematizzare i solai, elementi bidimensionali tipo "shell" collegati ai nodi di ciascuna maglia, privi di massa e peso ed aventi spessore a flessione nullo ed adeguato spessore membranale (pari, per tutti gli impalcati, a 8 mm di laterizio nello stato di fatto e a 5 cm di calcestruzzo nello stato di progetto). Allo scopo di cogliere con maggior precisione la distribuzione delle sollecitazioni all'interno delle nuove solette in c.a., la maglia è stata opportunamente raffittita, nei modelli di calcolo relativi allo stato di progetto.

Nonostante gli orizzontamenti dei piani primo e coperto possano essere considerati infinitamente rigidi nello stato di progetto (in virtù della nuova soletta in c.a. di 5 cm di spessore), non sono stati utilizzati vincoli interni di piano rigido, che, a causa dell'apertura centrale, avrebbero inevitabilmente falsato la schematizzazione del comportamento della struttura.

Come prescritto dalla normativa (§ 7.2.6 delle NTC), si è tenuto conto della fessurazione dei materiali esistenti riducendo del 50% i valori dei moduli elastici degli elementi strutturali esistenti.

Nel modello di calcolo relativo allo stato di progetto con molle, in corrispondenza dei micropali sono state inserite molle puntuali di rigidità pari, per ciascun micropalo, a 150.000 kg/cm in direzione verticale e a 15.000 kg/cm in ciascuna delle due direzioni orizzontali. In corrispondenza dei plinti esistenti sono state invece inserite molle puntuali (di rigidità pari all'area di influenza moltiplicata per la costante di sottosuolo k assunta pari a 1,0 kg/cm³).

2.6 Analisi modale

In tutti e 3 i modelli di calcolo elaborati sono stati considerati 300 modi di vibrare. L'85% delle masse partecipanti viene raggiunto:

- nel modello di calcolo relativo allo stato di fatto al 149° modo in direzione Y e al 188° in direzione X;
- nel modello di calcolo relativo allo stato di progetto con incastri alla base al 227° modo in direzione Y e al 284° in direzione X;
- nel modello di calcolo relativo allo stato di progetto con molle al 3° modo in direzione Y e al 5° in direzione X.

Si riportano le configurazioni deformate relative ai modi di vibrare fondamentali nelle due direzioni principali per ciascuno dei 3 modelli di calcolo elaborati

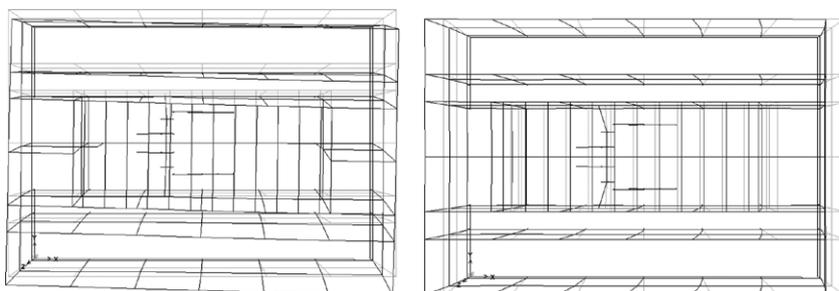


Figura 19
Stato di fatto – Modi di vibrare 1 (T = 1,836 s) e 3 (T = 1,569 s).

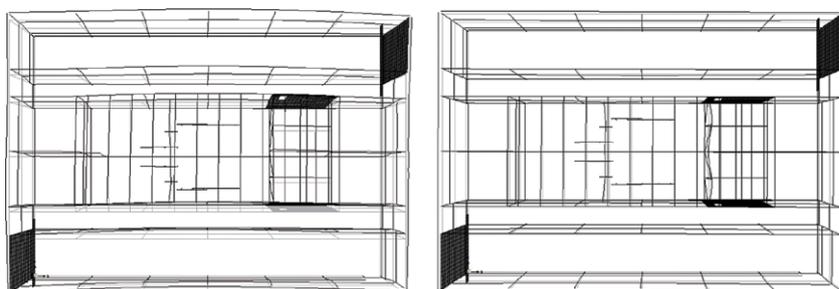


Figura 20
Stato di progetto con incastri alla base – Modi di vibrare 7 (T = 0,204 s) e 62 (T = 0,148 s).

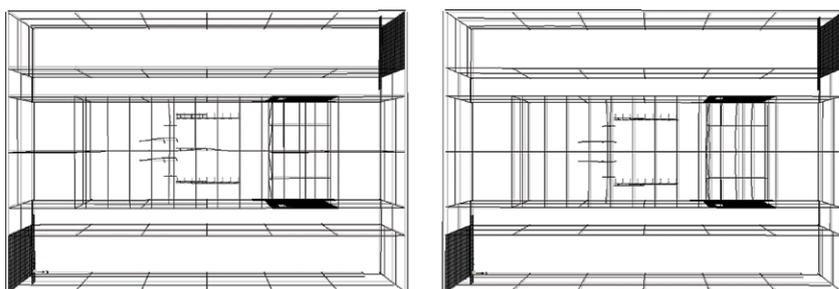


Figura 21
Stato di progetto con molle – Modi di vibrare 3 (T = 0,421 s) e 4 (T = 0,344 s).

2.7 Vulnerabilità nello stato di fatto

Le verifiche nei confronti dei carichi statici previsti dalle NTC hanno dimostrato l' idoneità della struttura esistente, che quindi non presenta particolari vulnerabilità sotto questo punto di vista.

Per quanto riguarda l' aspetto sismico, invece, si possono individuare le seguenti principali vulnerabilità della struttura esistente (i meccanismi di rottura sono elencati in ordine crescente di livello di sicurezza):

- Collegamento trave-pilastrati: 10%;
- Danni agli elementi non strutturali: 31%;
- Plinti: 40%;
- Martellamento: 43%;
- Pressoflessione pilastri: 51%;
- Portata del terreno: 60%;
- Flessione travi: 88%.

2.8 Adeguamento

L'intervento previsto consente di conseguire i livelli di sicurezza previsti dalla normativa vigente (D.M. 14-01-2008) e si configura pertanto come intervento di adeguamento.

In particolare, i livelli di sicurezza dei meccanismi di rottura non verificati nello stato di fatto ed evidenziati nel paragrafo precedente si innalzano oltre la soglia del 100%:

- Collegamento trave-pilastrati: 102%;
- Danni agli elementi non strutturali: 392%;
- Plinti: 102%;
- Martellamento: 180%;
- Pressoflessione pilastri: 104%;
- Portata del terreno: 133%;
- Flessione travi: 213%.

3. Altri interventi

3.1 Finiture connesse

L'intervento strutturale ha implicato la realizzazione delle seguenti opere:

- Rifacimento dei muri danneggiati;
- Realizzazione di nuove pavimentazioni in tutto l'edificio;
- Sostituzione dell'impiantistica coinvolta negli interventi.

3.2 Rifunzionalizzazione della scuola

Contestualmente agli interventi di riparazione dei danni ed adeguamento sismico sopra illustrati, il Comune di Crevalcore ha programmato una serie di interventi di riorganizzazione degli spazi al fine di assolvere ai requisiti minimi richiesti dalla normativa vigente in materia di Edilizia Scolastica ed allo stesso tempo recepire le esigenze di avere un edificio scolastico destinato ad ospitare 6 sezioni per un totale di 18 aule didattiche.

I parametri di dimensionamento hanno evidenziato una carenza degli spazi destinati ad attività speciali ed attività collettive, il cui reperimento ha imposto la creazione di nuove superfici all'interno dell'edificio. A tal fine sono stati individuate due aree di intervento:

- Al piano terra: mediante il recupero della loggia di ingresso e la conseguente realizzazione della tettoia esterna. L'atrio esistente e la superficie recuperata hanno portato, tramite anche lo spostamento di alcune partizioni interne, ad un ampliamento della Biblioteca ed una nuova collocazione per l'aula Insegnanti e l'aula Morbida.
- Al piano primo: mediante la realizzazione di un soppalco all'interno del doppio volume dell'auditorium. Questa nuova superficie, in adiacenza al laboratorio Informatica esistente, ha permesso la creazione di un secondo laboratorio destinato all'Educazione Artistica, i cui spazi precedentemente occupati al piano terra, sono stati destinati a nuove aule didattiche (Figura 22).

In generale, gli interventi di riqualificazione hanno permesso di raggruppare le sezioni in moduli di tre aule adiacenti, hanno portato alla creazione di un nuovo archivio e alla ubicazione di una reception per gli uffici della Direzione Didattica (Figura 23 e 24).

3.3 Miglioramento delle prestazioni energetiche

Gli interventi sopra esposti sono completati da opere volte alla riqualificazione del fabbricato ed alla osservanza delle indicazioni normative vigenti in materia di contenimento energetico, che principalmente hanno interessato, per le opere edili, il

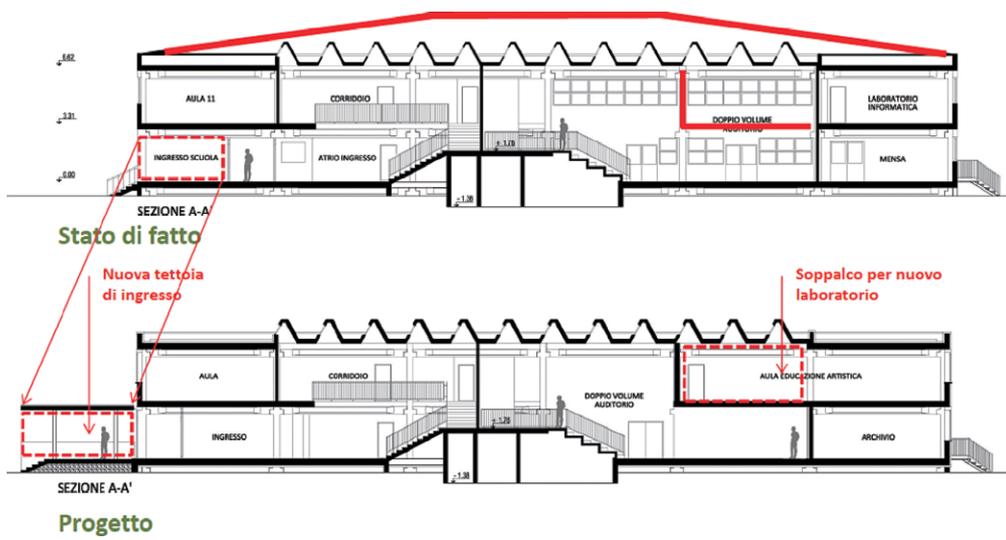


Figura 22
Interventi per l'aumento delle dotazioni.



Figura 23
Nuova tettoia esterna.



Figura 24
Nuovo soppalco interno.

miglioramento delle prestazioni delle componenti l'involucro del fabbricato.

In particolare, sono stati realizzati i seguenti interventi:

- Sostituzione degli infissi esistenti con serramenti a taglio termico, vetrocamera e frangisole esterno;
- Isolamento a cappotto del fabbricato;
- Impianto fotovoltaico.

4. Conclusioni

È stato descritto il progetto di adeguamento sismico di un edificio scolastico sito nel comune di Crevalcore (BO), realizzato nel 1979 e gravemente danneggiato in seguito agli eventi sismici del maggio 2012.

I risultati dell'analisi hanno confermato le vulnerabilità alle azioni orizzontali evidenziate dalla struttura esistente, realizzata in c.a. prefabbricato: collegamenti trave-pilastro "a secco" (affidati al solo attrito, efficace solamente nei confronti di azioni

Figura 25

Interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche.



Figura 26

Atrio di ingresso



sismiche non particolarmente elevate) e schema statico eccessivamente deformabile (pilastri come mensole incastrate alla base), con conseguenti gravi danneggiamenti alle tramezzature interposte.

Considerata la necessità di terminare i lavori in tempi brevi, per consentire l'uso del fabbricato già per l'anno scolastico 2014-2015, si è deciso di intervenire realizzando quattro pareti irrigidenti in c.a. (posizionate a coppie per ogni direzione principale e di rigidezza tale da contenere le deformabilità e le sollecitazioni di tutti i pilastri a valori accettabili), destinate a ricevere la gran parte delle sollecitazioni sismiche orizzontali e completate da nuove fondazioni su micropali, evitando così di intervenire sui pilastri e sulle relative fondazioni.

Contestualmente agli interventi di riparazione dei danni ed adeguamento sismico, sono stati realizzati interventi di riorganizzazione degli spazi (realizzazione di una tettoia esterna e di un soppalco interno) al fine di assolvere ai requisiti minimi richiesti dalla normativa vigente in materia di Edilizia Scolastica ed allo stesso tempo recepire le esigenze di avere un edificio scolastico destinato ad ospitare 6 sezioni per un totale di 18 aule didattiche.

Bibliografia

CEN (European Committee for Standardization) (2005) - Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, EN 1998-3. Bruxelles.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 (2009) - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

D.M. 14 gennaio 2008 (2008) - Norme tecniche per le costruzioni.

Dipartimento Protezione Civile, ReLUIS, 2012. Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici.

Fib, 2003 (2003) - Seismic Assessment and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings. State of the Art Report.

SAP2000 (2009) - Advanced 14.2.4. Analysis Reference Manual. Computer and Structures Inc., Berkeley, California, USA.

Manfredi G., Masi A., Pinho R., Verderame G., Vona M. (2007) - *Valutazione degli edifici esistenti in cemento armato*. IUSS Press. Pavia, Italy.