

## Un percorso completo per il miglioramento sismico

Corrado Prandi<sup>1</sup> ■



### Nome dell'opera/progetto:

Realizzazione del miglioramento sismico di un immobile a destinazione produttiva, con ubicazione a Carpi (MO), presso la sede di COMEF S.r.l.

### Ubicazione:

Via Giovanni XXIII<sup>o</sup>, 174 - 41012 Carpi (MO)

### Committente:

COMEF S.r.l.

### Coordinatore Progettazione Strutturale:

Ing. Corrado Prandi

### Esecuzione Lavori:

Messori S.r.l. Correggio (RE) con rilevante apporto del titolare Geom. Messori Luca e del collaboratore dell'impresa Geom. Palmieri Donato

### Anno completamento lavori:

2018

### 1. Introduzione

Il fabbricato industriale in oggetto si posiziona all'interno dell'area emiliana di cratere interessata dagli eventi sismici del mese di maggio 2012 e successivi.

Le fasi del percorso seguite per il miglioramento sismico dell'immobile sono state: il reperimento della documentazione disponibile relativa alla costruzione originaria, il rilievo del danno, il rilievo geometrico e materico, la valutazione della vulnerabilità, la progettazione degli interventi per il miglioramento sismico, l'esecuzione delle opere.

Il miglioramento sismico è stato conseguito distribuendo nella costruzione vari controventi metallici irrigidenti, utili a ridurre le sollecitazioni sugli elementi strutturali del fabbricato e a limitare il possibile danno sugli elementi non strutturali.

La presenza diffusa degli impianti e attrezzature proprie dell'attività produttiva biomedicale, hanno richiesto accorgimenti progettuali e modalità di realizzazione utili a mantenere la continuità produttiva quasi per tutto il periodo di esecuzione delle opere.

L'intervento ha seguito le prescrizioni della L.122/2012, delle NTC2008 e ha beneficiato dei contributi pubblici previsti dalla Regione Emilia Romagna.

<sup>1</sup> Ingegnere libero professionista

## 2. Descrizione

Il fabbricato della ditta Comef si posiziona nella periferia della città di Carpi, in una zona a prevalente destinazione residenziale; gli accessi alla viabilità secondaria e principale sono soddisfacenti, mentre le possibilità di percorrenza nell'area cortiliva dell'immobile sono assai modeste.

La produzione di componenti biomedicali comporta la presenza di plastiche infiammabili per la materia prima, per i componenti in lavorazione e il prodotto finito; nonostante vari accorgimenti logistici consentano di limitare la quantità di materia plastica presente, nonostante la manutenzione ed adeguamento degli impianti termici, elettrici e antincendio venga costantemente effettuata, la possibilità di incendio conseguente ai danneggiamenti dovuti ad una azione sismica non possono essere esclusi e la prossimità di abitazioni, unitamente alla difficoltà di movimentazione nell'area cortiliva, costituiscono una aggravante non trascurabile del rischio.

Gli addetti della ditta operano prevalentemente in ambienti denominati "camere bianche", locali mantenuti in sovrappressione per contrastare l'ingresso eventuale di inquinanti, incompatibili con l'impiego biomedicale del prodotto; gli operatori ed il prodotto entrano ed escono dalle camere bianche, attraversando ambienti filtro, che se da un lato tutelano la qualità della produzione, dall'altro impediscono un rapido sgombero dei locali in caso di emergenze; anche la notevole densità di impianti e attrezzature costituisce una limitazione ai percorsi di uscita dagli ambienti.

Quanto sopra a evidenziare quanto sia stata considerata importante l'esecuzione di un intervento di miglioramento sismico indirizzato a contenere cedimenti, danni strutturali e non strutturali, con tutela degli operatori interni, delle abitazioni confinanti e indirettamente, grazie al conseguimento di una minore deformabilità, con una maggiore garanzia di mantenimento della ermeticità di camere bianche e impianti.

**Figura 1**  
Vista aerea della promiscuità  
dell'impianto produttivo con  
le abitazioni limitrofe.



Il fabbricato è costituito da due parti in continuità strutturale: una prima parte che prevede un telaio in c.a. eseguito in opera, tamponato in laterizio e con coperture voltate in laterocemento; una seconda parte a telaio in c.a. con elementi prefabbricati, tamponato in laterizio e con coperture a falde in laterocemento; nell'immagine aerea le due parti si distinguono chiaramente grazie ai manti di copertura differenziati: in tegole laterizie sulla copertura a volte, in lastre di fibrocemento sulle coperture a falde.





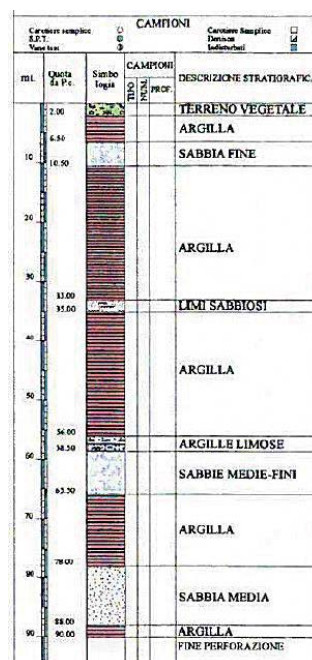
**Figura 2**  
Vista esterna ed interna della costruzione.

Gli eventi sismici dell'anno 2012 non hanno comportato danni rilevanti al fabbricato e sono consistiti prevalentemente nella formazione di lievi fessurazioni dei tamponamenti in muratura all'interfaccia con le parti in c.a., nel distacco del copriferro di alcuni pilastri, in sfondellamenti localizzati dei laterizi delle volte o nella sconnessione delle tegole in copertura e in diffuse fessurazioni di pareti divisorie in laterizio e cartongesso; il danneggiamento riconosciuto e descritto, già nella prima fase di valutazione, indirizzava verso il riconoscimento di una deformabilità dell'immobile superiore a quella compatibile con gli elementi strutturali e non strutturali presenti e poteva essere di indirizzo alle successive valutazioni progettuali.

La ricerca di documentazione tecnica dell'immobile portava a risultati non uniformi per le due parti costituenti l'immobile; per la parte più datata eseguita in c.a. in opera risultava disponibile unicamente un rilievo geometrico, mentre per la realizzazione più recente in elementi prefabbricati, oltre al rilievo geometrico, era stata rinvenuta la denuncia delle opere presso il Genio Civile, completa di elaborati grafici, relazioni di calcolo e collaudo.

Nel corso dei riscontri eseguiti principalmente sulle pilastrate, si conseguivano dati comparativi con sclerometro e il riconoscimento sommario della posizione delle armature; veniva notata una significativa disomogeneità nei posizionamenti, poi confermata da successive indagini invasive locali che potevano offrire indicazioni puntuali sui diametri delle armature presenti; stante la disuniformità delle osservazioni si riteneva corretto considerare un fattore di confidenza  $FC = 1,35$ , che avrebbe portato a valutazioni prudenziali circa le risorse della costruzione.

L'esecuzione di scavi locali forniva buone indicazioni sulla geometria delle fondazioni presenti e indagini geologico-geotecniche chiarivano la classe di terreno dell'area, permettendo poi di determinarne anche la capacità alle sovrappressioni indotte dalle fondazioni.



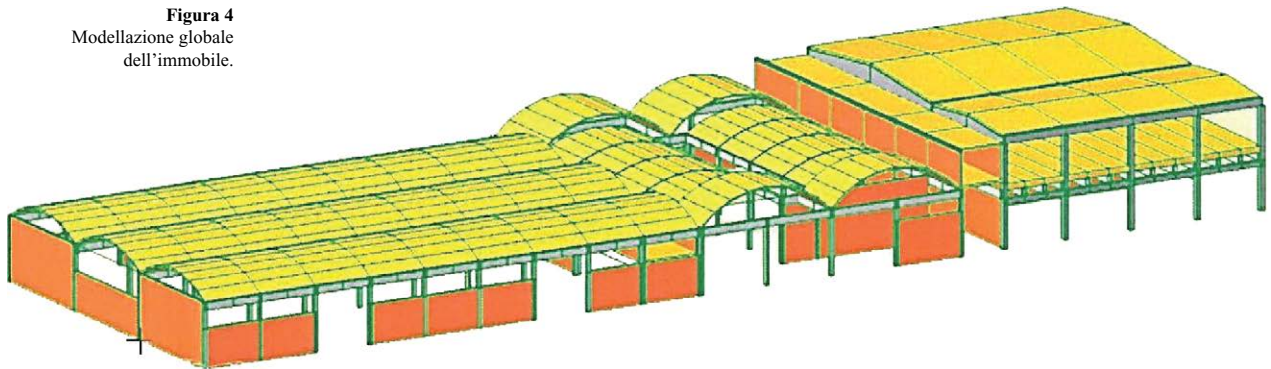
**Figura 3**  
Sondaggi sul terreno  
superficiali e profondi.

ndagini sul terreno oltre a definire in base alla velocità delle onde di taglio la classe sismica C dello stesso, permettevano la definizione dello spettro elastico di progetto oltre a rassicuranti valutazioni sulle possibilità di liquefazione negli strati del suolo in concomitanza all'azione del sisma.

Si ritennero a questo punto sufficienti le informazioni per procedere alla modellazione del fabbricato impiegando una procedura f.e.m.; il percorso seguito nella modellazione ha cercato di attribuire a ogni componente una configurazione geometrica e di vincolo quanto più possibile coerente al vero:

- le fondazioni, che erano state riconosciute o continue o con forti reciproci collegamenti, erano state simulate mediante l'incastro alla base dei pilastri;
- i tamponamenti in muratura, quando erano confinati tra fondazione, pilastri e bancale delle aperture a nastro, prevedevano l'impiego di elementi bidimensionali, previa verifica che tale assunzione fosse quella che comportava maggiore aggravio ai pilastri; quando invece i tamponamenti erano posizionati esternamente alle pilastrate e solo puntualmente connessi alle stesse, questi erano considerati solo in termini di massa, senza offrire contributo alle rigidezze;
- le connessioni trave/pilastro erano in continuità nelle parti eseguite in opera e incernierate nei prefabbricati;
- gli impalcati di piano e di copertura venivano modellati con l'effettiva conformazione, ritenendo di conseguire in tal modo una migliore coerenza nella simulazione della rigidezza reale nel piano;
- corpi di fabbrica limitati e adiacenti al fabbricato principale, ma strutturalmente indipendenti, non sono stati considerati nella modellazione.

**Figura 4**  
Modellazione globale  
dell'immobile.



La volontà di procedere alle valutazioni più comuni proposte dalle norme, indirizzava verso la scelta di procedere all'analisi dinamica modale con spettro di risposta; si riteneva di utilizzare lo spettro elastico normativamente proposto per il sito di edificazione, pur valutando anche fattori di amplificazione derivati da microzonazioni eseguite nella zona.

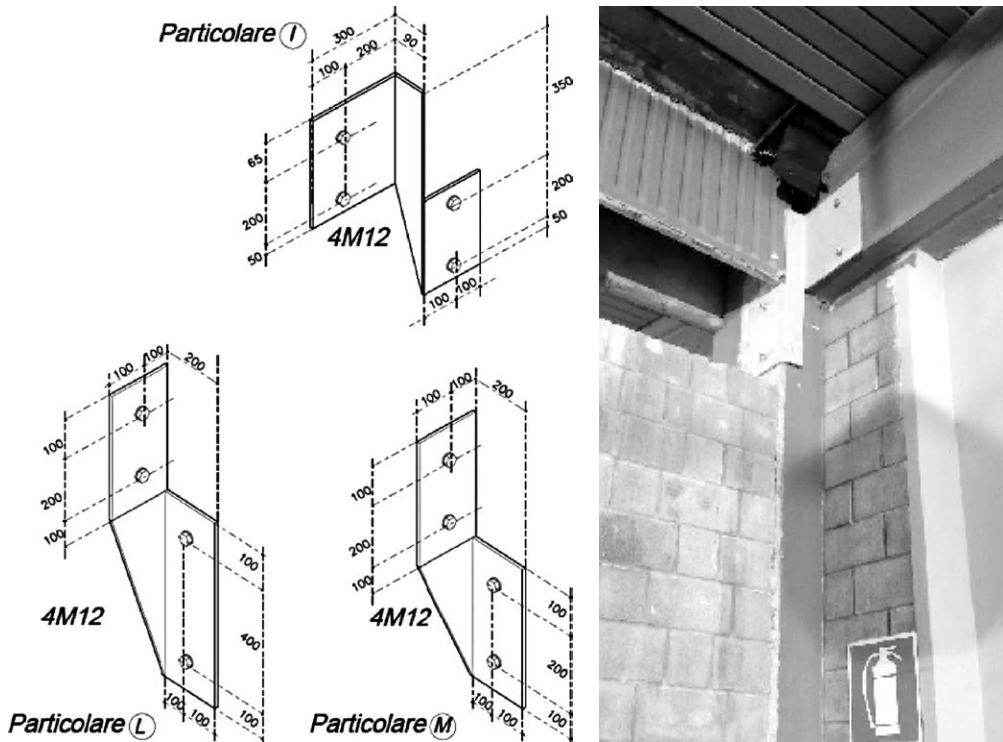
Anche nell'assunzione dei fattori di struttura per definire lo spettro di progetto, venivano utilizzate le tabelle normative per i vari materiali e le diverse configurazioni strutturali; risultavano pertanto diversi i fattori di struttura per la parte eseguita in opera e per la parte in prefabbricato, venivano dunque eseguite due distinte analisi sullo stesso modello applicando distinti spettri di progetto, ognuna per la valutazione degli effetti sulle due parti di fabbricato caratterizzate da diversa tipologia.

La prima fase delle analisi era stata finalizzata alla determinazione delle azioni nei nodi tra componenti prefabbricati, per riscontrare l'adeguatezza della connessione e procedere alla eventuale integrazione, come richiesto dalla L.122/2012.

Tutti i componenti prefabbricati, all'esame visivo e documentale, risultavano sprovvisti di connessioni; queste venivano pertanto predisposte utilizzando piastre metalliche collegate agli elementi mediante tasselli chimici; le nuove connessioni venivano dimensionate per minimizzare e comunque rendere compatibili eventuali azioni flessionali indotte nei prefabbricati, che nella configurazione del progetto iniziale non contemplavano tali azioni; gli interventi di connessione erano oltretutto un indispensabile prerequisite per la modellazione che prevede la presenza di elementi connessi.

Il montaggio delle connessioni non ha comportato particolari problemi salvo che a causa di alcune difformità nell'orientamento dei prefabbricati, si verificava infatti un difetto di planarità nella posa delle piastre; alla circostanza si è ovviato efficacemente interponendo tra piastra e prefabbricato del mastice epossidico, conseguendo la piena aderenza.

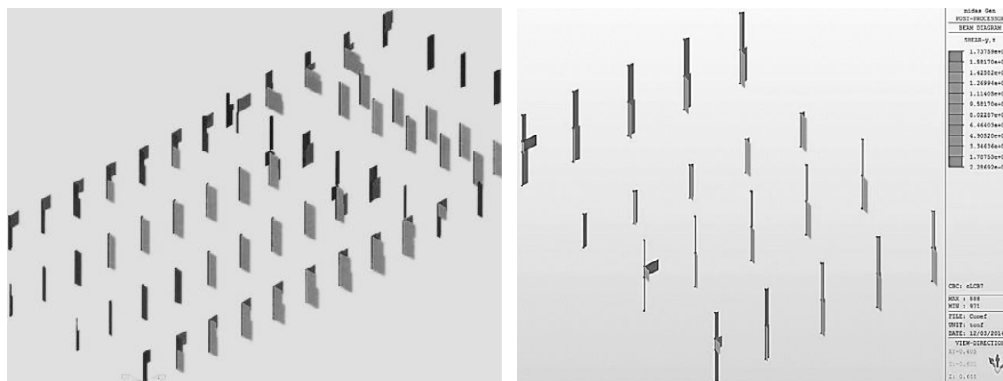
La successiva fase di analisi ha indagato la vulnerabilità dell'immobile all'azione del sisma, considerando prevalentemente il comportamento dei pilastri, ritenuti gli elementi maggiormente attivi nel contrasto alle azioni orizzontali; venivano eseguite analisi separate del medesimo modello con due fattori di struttura, un primo normativamente idoneo al telaio eseguito in opera e un secondo adatto al telaio in elementi prefabbricati.



**Figura 5**  
Connessioni tra gli elementi prefabbricati.

Venivano indagate le capacità flessotaglianti dei pilastri sottoposti alle azioni conseguenti allo spettro di risposta normativo, riconoscendo una maggiore vulnerabilità della parte in realizzata con elementi prefabbricati rispetto a quella eseguita in opera; i rapporti di verifica derivavano direttamente dalle verifiche di capacità nei pilastri che risultavano maggiormente sollecitati. Le possibilità offerte dalla procedura nel restituire numericamente e graficamente masse partecipanti e deformazioni associabili ai singoli modi, contribuivano a motivare la regolarità e la presunta affidabilità del modello e dei relativi risultati che venivano forniti; con semplici calcoli manuali e assunzioni sommarie venivano anche eseguite sintetiche comparazioni dei taglianti alla base, delle risultanti dei carichi verticali e delle rigidzze, ottenendo adeguati riscontri positivi; il modello eseguito, così caratterizzato, poteva ragionevolmente essere impiegato per valutare le successive scelte d'intervento. La distribuzione delle azioni restituita dalla procedura evidenziava la generalizzata criticità delle parti dei pilastri corrispondenti alle finestrate a nastro e trovava qualche conferma nel danneggiamento di elementi non strutturali posizionati in zone corrispondenti a quelle rappresentate nel modello; anche queste osservazioni potevano essere interpretate come un ulteriore elemento di validazione.

Giunti a questo punto si disponeva dei dati numerici sufficienti per stimare la vulnerabilità dell'immobile, rapportando la capacità dello stesso con quella normativamente richiesta ad un immobile nuovo di caratteristiche comparabili; la normativa vigente in quella zona dell'Emilia ed in quel periodo richiedeva ai fabbricati produttivi in raggiungimento di una capacità minima pari al 60% rispetto a quella di un corrispondente fabbricato nuovo.



**Figura 6**  
Diagrammi dell'azione tagliante.



La differenza in capacità da colmare, risultava maggiore nella parte in prefabbricato a due piani rispetto a quella del fabbricato in opera monopiano; la difficoltà che si presentava da subito derivava dalle richieste inderogabili della Proprietà, il mancato soddisfacimento delle quali avrebbe potuto comportare l'abbandono dell'impianto da parte del gruppo industriale, che senza troppe difficoltà avrebbe potuto trasferire quella quota di produzione in altre sedi; le ipotesi di trasferimento avrebbero causato danni e disagi ingenti nelle maestranze costrette alla mobilità se non alla perdita dell'occupazione, oltre all'annullamento di una risorsa per il territorio, già tanto duramente colpito dall'azione del sisma; sussistevano tutte le premesse per favorire il massimo coinvolgimento personale e impegno tecnico.

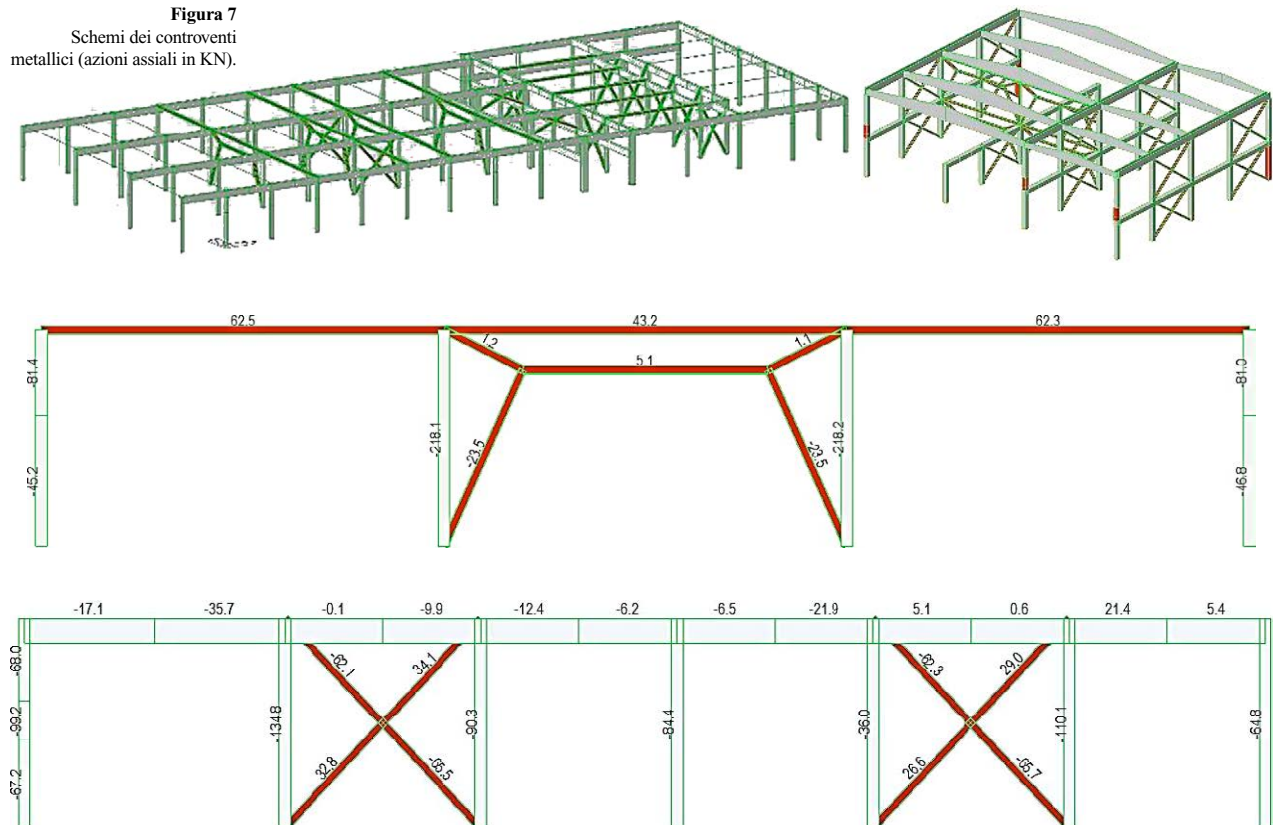
Le richieste della Proprietà erano le seguenti:

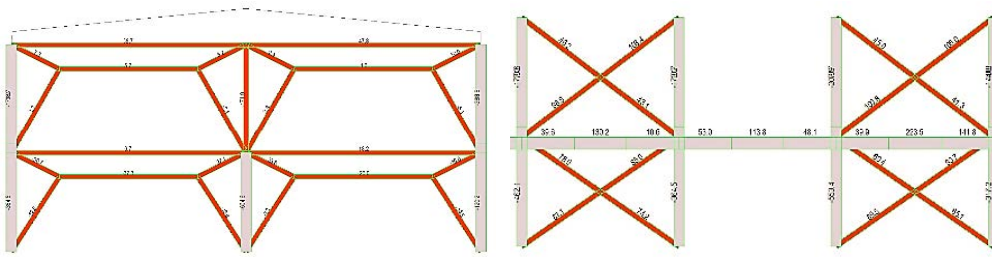
- progettazione di interventi risolutivi che non interferissero, se non minimamente, con i flussi produttivi;
- mantenere la continuità della produzione per non perdere la redditività dell'impianto in una stagione economica tanto difficile; dunque promiscuità delle attività produttive dell'impianto e del cantiere con piena disponibilità delle aree unicamente in orario notturno, festivo o durante le ferie;
- minimizzare la produzione di polveri nel cantiere che, di difficoltosa eliminazione, avrebbero pregiudicato la qualità del prodotto biomedicale;
- possibilità della temporanea rimozione degli interventi, quando fosse necessario il passaggio e il posizionamento di macchinari e impianti.

Solo la determinazione dell'impresa realizzatrice principale (*Messori s.r.l.*), consapevole delle proprie risorse e capacità delle maestranze, ha convinto lo Scrivente e la Proprietà a avviare un percorso che si presentava tanto difficoltoso e dal quale ci si poteva attendere un gran numero di imprevisti.

La progettazione veniva avviata nell'anno 2015 e individuava nella predisposizione di controventi metallici interni, disposti secondo entrambe le direzioni principali del fabbricato, la soluzione maggiormente compatibile con lo stato dei luoghi; per il dimensionamento dei controventi si riteneva di doverli proporre con sezioni adeguate al sisma di progetto (e non al 60%) e di considerare per gli stessi un fattore di struttura unitario; interventi ulteriori erano la riparazione delle fessurazioni nelle pareti o dei distacchi del copriferro nei pilastri, oltre alla sostituzione del dissestato e sconnesso manto di copertura in tegole o lastre in fibrocemento, impiegando pannelli composti in alluminio e poliuretano; quest'ultima scelta progettuale, oltre a un sensibile miglioramento energetico, riduceva di circa 750 KN il carico al livello della copertura.

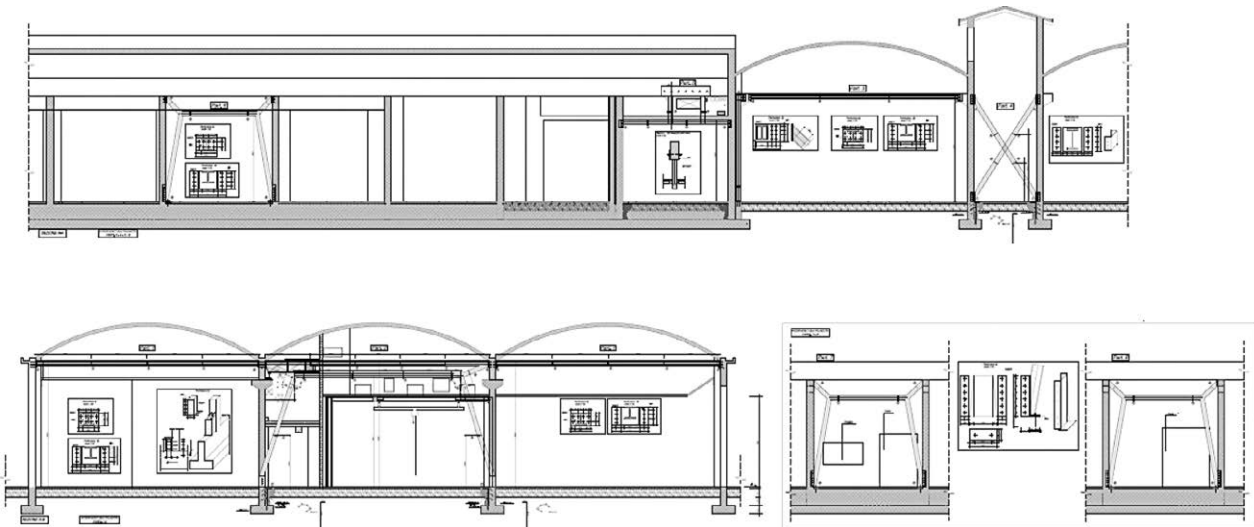
**Figura 7**  
Schemi dei controventi  
metallici (azioni assiali in KN).



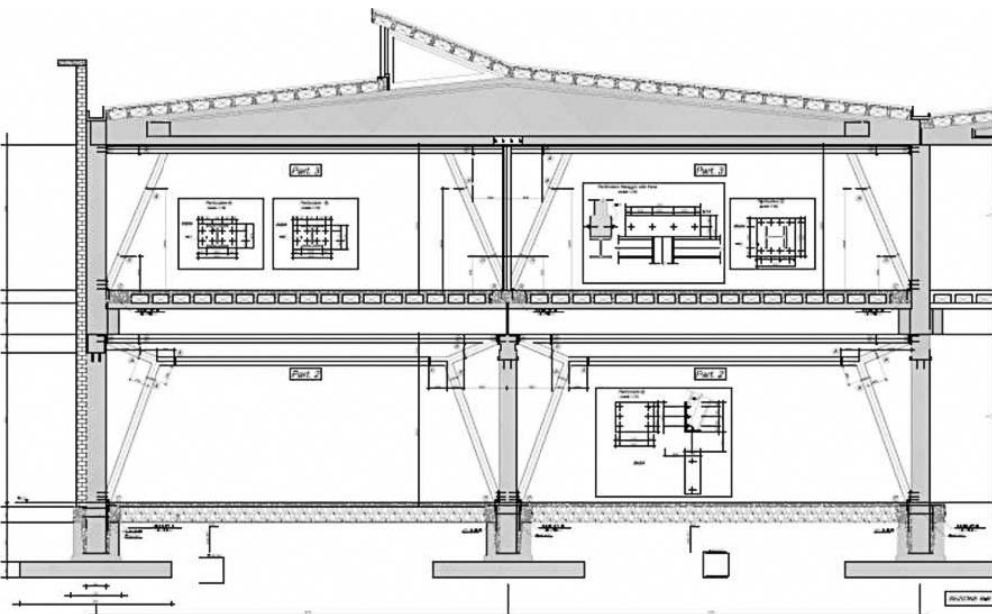


**Figura 7**  
Schemi dei controventi  
metallici (azioni assiali in KN).

Per i controventi metallici era prevista la suddivisione in parti tali da poter essere movimentate e composte anche manualmente, soprattutto nelle parti meno accessibili del fabbricato quali i volumi oltre i controsoffitti delle camere bianche; le connessioni ai pilastri esistenti prevedevano l'impiego di tasselli chimici, mentre le connessioni in fondazione prevedevano scassi limitati per il raggiungimento delle stesse oltre a modeste opere di rinforzo e collegamento; le dimensioni delle sezioni dei controventi (HEB200) derivavano principalmente dal rispetto delle verifiche all'instabilità fuori piano.



**Figura 8**  
Sezioni tipo dei fabbricati con  
inserimento degli interventi di  
miglioramento sismico.



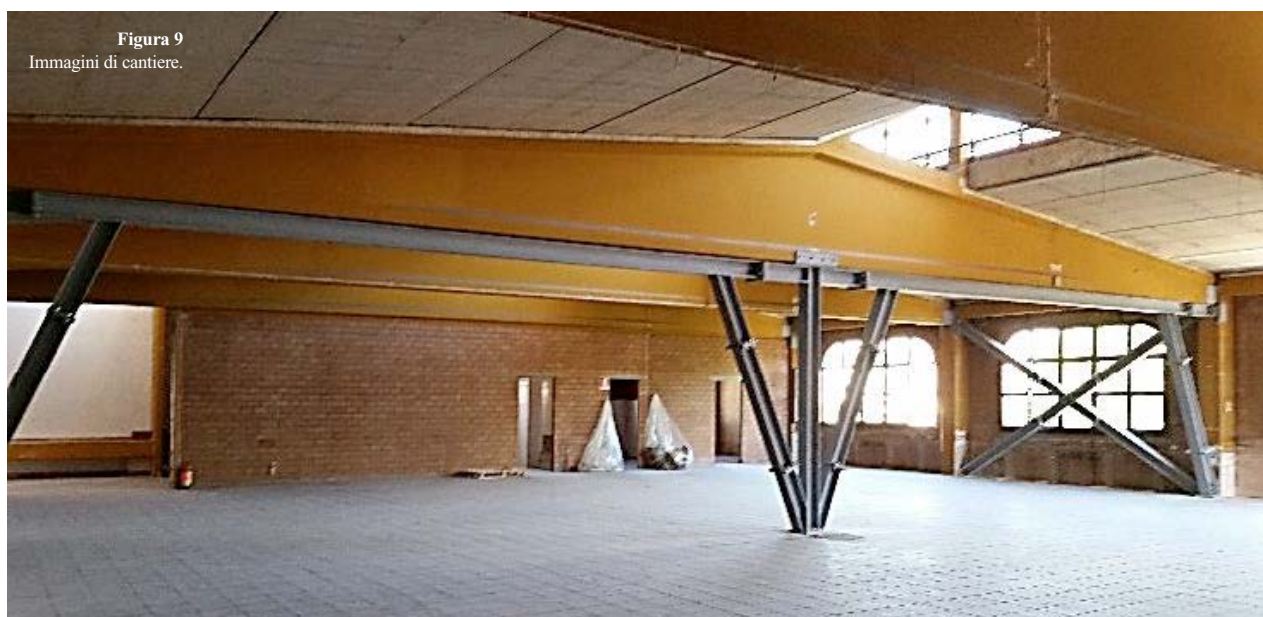
L'inderogabile necessità di riuscire a completare l'esecuzione degli interventi in fondazione ed il montaggio delle parti metalliche nelle 4 settimane di chiusura estiva dell'impianto, consigliava di procedere ad un rilievo interno mediante laser-scanner che avrebbe permesso il riconoscimento di ogni ingombro, avviando una coerente produzione delle carpenterie, con certo riscontro dell'assenza di interferenza con i volumi esistenti; la perizia e volontà degli operatori ha consentito il rispetto della gravosissima scadenza.

Gli imprevisti nel corso dell'esecuzione degli interventi erano principalmente il riconoscimento del disuniforme posizionamento dei tondini metallici nei pilastri, il che costringeva all'esecuzione di fori asolati nelle piastre; a volte le perforazioni per l'inserimento dei tasselli dovevano essere inclinate per non interferire con il tondino di armatura; a finire, per ovviare all'anomalia e prima del serraggio, venivano sigillate le eccedenze delle asole nelle piastre con resina epossidica e venivano predisposte in cantiere rondelle con facce non reciprocamente planari, che permettessero di recuperare l'inevitabile inclinazione dei tasselli.

Per verificare la capacità della connessione, anche nella più irregolare condizione di inclinazione del tassello e dimensione del foro, sono state realizzate in una coppia di pilastri campione del fabbricato due tassellature inclinate, sono state poi posizionate due piastre con la maggiore asolatura riscontrata nei lavori, queste serrate infine con l'interposizione di rondelle cuneiformi; veniva a seguire imposto con dispositivi idraulici un tiro inclinato di entità 1,5 volte superiore alla max. azione assiale di progetto; grazie al posizionamento di una idonea strumentazione micrometrica, in grado di rilevare gli spostamenti reciproci tra le parti, non venivano riconosciuti spostamenti significativi, escludendo gli inevitabili assestamenti iniziali.

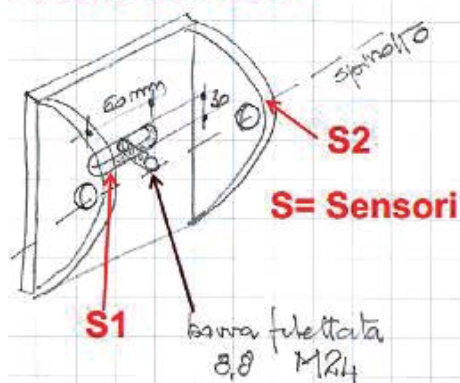
L'intervento eseguito ha comportato una notevole riduzione della vulnerabilità dell'immobile, portando la capacità complessiva dello stesso oltre il limite richiesto pari al 60% della capacità richiesta ad un nuovo fabbricato sottoposto al sisma normativo; l'eventuale verificarsi di eventi più gravosi rispetto alle attuali prescrizioni normative, troverebbe comunque la maggiore risorsa legata al prudente dimensionamento attribuito ai nuovi controventi metallici.

Figura 9  
Immagini di cantiere.





### Piastra con asole



**Figura 10**  
Immagini relative alla prova di carico.

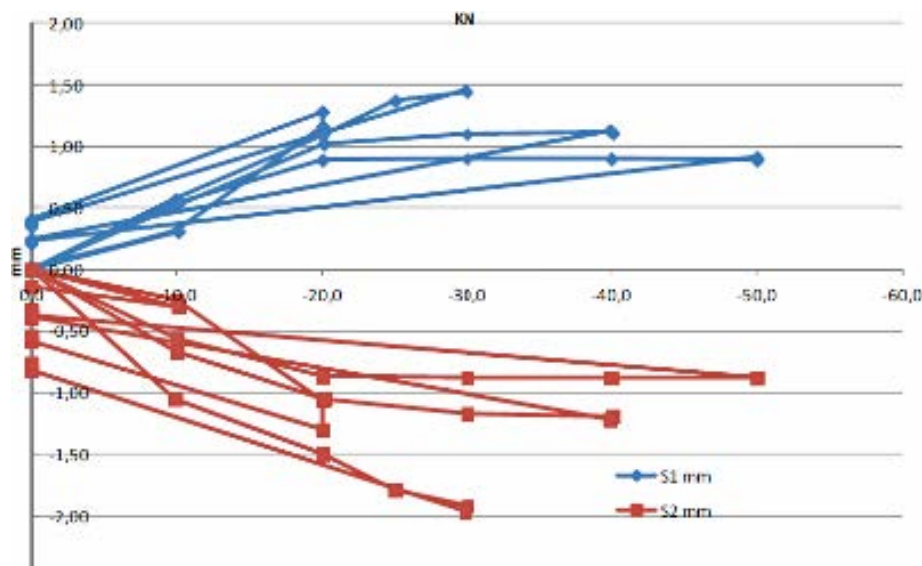


Tabella 1 - Capacità globale del fabbricato rapportata a quella richiesta per un fabbricato nuovo

|                       | Parte del fabbricato in c.a. eseguito in opera | Parte del fabbricato in c.a. prefabbricato |
|-----------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Prima dell'intervento | 48%                                            | 15%                                        |
| A intervento eseguito | 88%                                            | 88%                                        |

### Conclusioni

L'intervento di miglioramento sismico eseguito sul fabbricato della ditta **COMEF s.r.l.** ha consentito il raggiungimento del livello di vulnerabilità previsto dalla norma vigente nella zona di edificazione; gli interventi in progetto e le modalità di realizzazione si sono dimostrate compatibili con il mantenimento dell'attività produttiva, evitando l'ingente danno economico legato al fermo di produzione.

La riduzione del peso proprio in copertura e l'inserimento di nuovi controventi metallici, dimensionati per mantenersi in campo elastico, hanno determinato una generalizzata riduzione delle azioni sulle pilastrate esistenti in c.a. rendendone la capacità compatibile con le richieste normative.

L'impatto finale degli interventi si è dimostrato poco invasivo e non ha comportato pregiudizio o necessità di modifiche al ciclo di produzione.

L'intervento si presta a essere replicato per immobili con caratteristiche ed esigenze comparabili.

### L'Autore

Ing. Corrado Prandi - Correggio (RE) - [www.studioprandi.com](http://www.studioprandi.com)