

**Recuperare l'esistente: una nuova biblioteca civica da un edificio inutilizzato**

L'edificio, realizzato in Ivrea alla metà dell'ottocento presumibilmente come trasformazione dell'ex convento di S. Chiara, fu sede della caserma E. Perrone e, in età recente, dell'Istituto scolastico "Cena"; attualmente è disabitato. La sua destinazione quale sede per la nuova biblioteca civica ne ha richiesto la verifica strutturale e sismica come completamento della verifica di fattibilità del recupero, incarico affidato all'ing. Elvis Francisco della Valle D'Aosta.



Presenta una struttura a pianta rettangolare lunga 60 m, larga 14 m, alta 17 m in gronda, ed è privo di piani interrati. La superficie interna complessiva è di circa 3100 m<sup>2</sup>, quella al piano terra, al netto delle murature perimetrali, è di 700 m<sup>2</sup> e quelle ai piani superiori variano da 810 m<sup>2</sup> a 831 m<sup>2</sup> in funzione dello spessore dei muri.

La scatola muraria è formata da otto muri di spina fra di loro paralleli, posti ad interasse di 6.5 m, perpendicolari ai muri maestri, con spessori che variano dal piano terra fino al terzo piano da 74 cm a 43 cm; i muri perimetrali hanno anch'essi spessore variabile da 85 cm a 53 cm. La tipologia delle murature è ascrivibile a due categorie: una, preponderante, si compone da muratura in pietrame disordinata formata da un impasto di calce, pietre e mattoni pieni, talvolta integri, più frequentemente frammentati, mentre l'altra tipologia, riscontrabile saltuariamente, è formata da mattoni pieni e malta di calce.



Come sovente avviene nelle strutture esistenti, anche i solai sono di differenti tipologie; putrelle e voltine in mattoni disposti di taglio ed in foglio, volte a botte, volte a vela, solaio misto acciaio laterizio (come ad esempio il solaio del sottotetto dove la volta è stata rimossa ed al suo posto è stato realizzato un solaio piano formato da putrelle d'acciaio e tavole in laterizio).

Si ritiene plausibile far risalire al 1859 l'intervento edilizio che diede alla struttura le sembianze attuali. L'edificio fu poi oggetto di vari interventi, e in particolare fra l'agosto ed il settembre del 1976 fu demolito il fabbricato adiacente, ex sede della caserma Molinatti, cosa che rese necessario il progetto di una struttura che riprendesse le spinte esercitate dai solai della manica est, formati da volte a botte, la cui azione si scaricava sull'edificio adiacente demolito. Le lesioni comparse nelle volte dei locali sovrastanti il sottopasso di via S. Martino resero urgente l'intervento per salvaguardare la stabilità del fabbricato. Furono progettati due distinti contrafforti, mostrati nelle immagini seguenti, separati da una viuzza che si innesta in via S. Martino. Si tratta di due strutture in cemento armato ordinario formate da piastra di fondazione e paramento verticale di spessore variabile, raccordati con profilo iperbolico; l'altezza delle strutture raggiunge 17 m.



Nel dicembre 2017 sono stati svolti quattro sopralluoghi; il rilievo è stato condotto piano per piano tranne per alcune parti a piano terra non accessibili a causa di materiale depositato, in questi casi le dimensioni sono state dedotte da misure esterne e per confronto con quelle dei locali contigui.

La maggior parte delle fasce di piano è risultata essere fessurata, in modo particolare quelle poste sul muro perimetrale a nord e nei muri di spina.

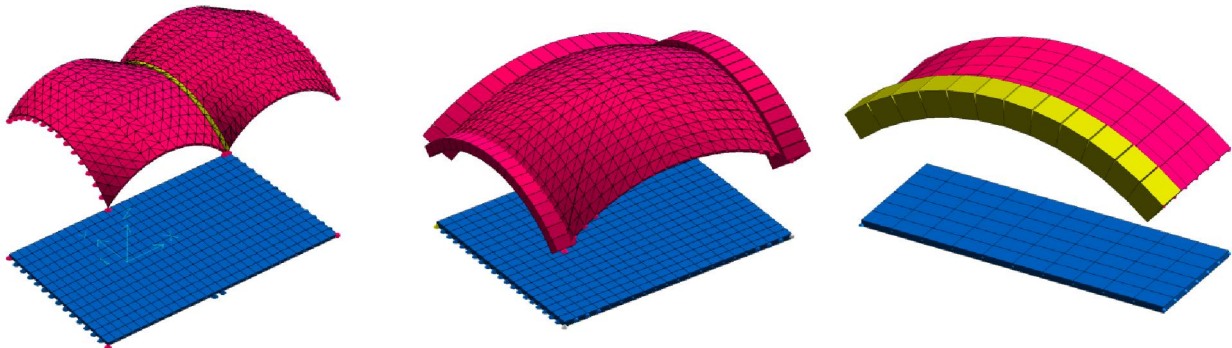
Le prove e le indagini sui materiali sono state realizzate tramite spicconature degli intonaci, prelievi delle malte e dei laterizi, prove soniche e prove penetrometriche sulle malte. Nella fase successiva sono state fatte tre prove con martinetti piatti ed è stata asportata una porzione dei travicelli in acciaio che reggono gli impalcati di piano. La tipologia di muratura che caratterizza la quasi totalità del fabbricato è caratterizzata da tessitura irregolare e da materiale disomogeneo, fattori che hanno comportato difficoltà nello svolgimento delle prove e che hanno indotto a valutare con cautela i risultati ottenuti.

Elementi fondamentali per comprendere l'evoluzione nel tempo della struttura sono stati tratti dalla documentazione progettuale, redatta dall'ing. Giuseppe Aluffi, che copre un periodo di tempo compreso fra la metà degli anni settanta e la fine degli anni ottanta.

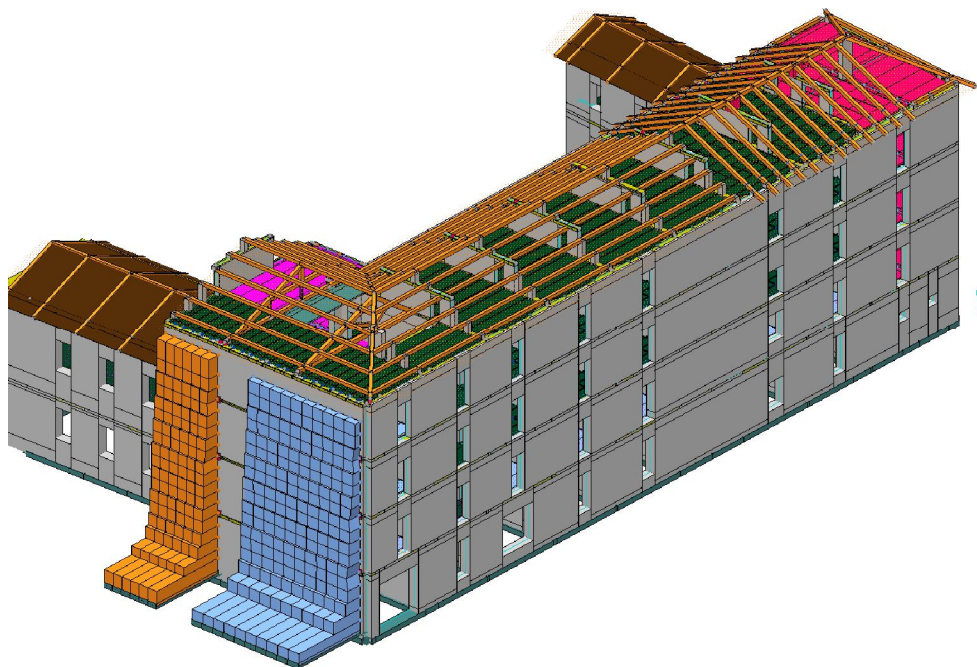
I rilievi, le prove in situ, quelle di laboratorio, la consultazione della documentazione relativa ai lavori svolti in passato consentono di porre il livello di conoscenza della struttura pari a LC3 a cui corrisponde un fattore di confidenza FC uguale a 1.

I dati raccolti nel corso dei rilievi e delle prove hanno consentito di realizzare un modello architettonico tridimensionale, che è poi stato esportato in formato IFC e importato in DOLMEN, programma di calcolo

strutturale prodotto e distribuito da CDM DOLMEN Srl di Torino, con il quale sono state svolte le verifiche del fabbricato. E' stata effettuata una prima valutazione complessiva della sicurezza con analisi statica e dinamica, rappresentando l'edificio ex-Cena tramite un modello a telaio equivalente: in questa fase le volte sono state modellate ricorrendo a gusci piani aventi rigidezza equivalente a quella delle volte, in modo da avere un modello nel quale i vari elementi strutturali fossero schematizzati con lo stesso livello di dettaglio.



I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite secondo le indicazioni del D.M. 17 gennaio 2018. Il calcolo delle azioni sismiche è stato eseguito con analisi dinamica modale, considerando il comportamento della struttura in regime elastico lineare; il sito in cui si trova l'opera ricade all'interno della zona sismica 4.

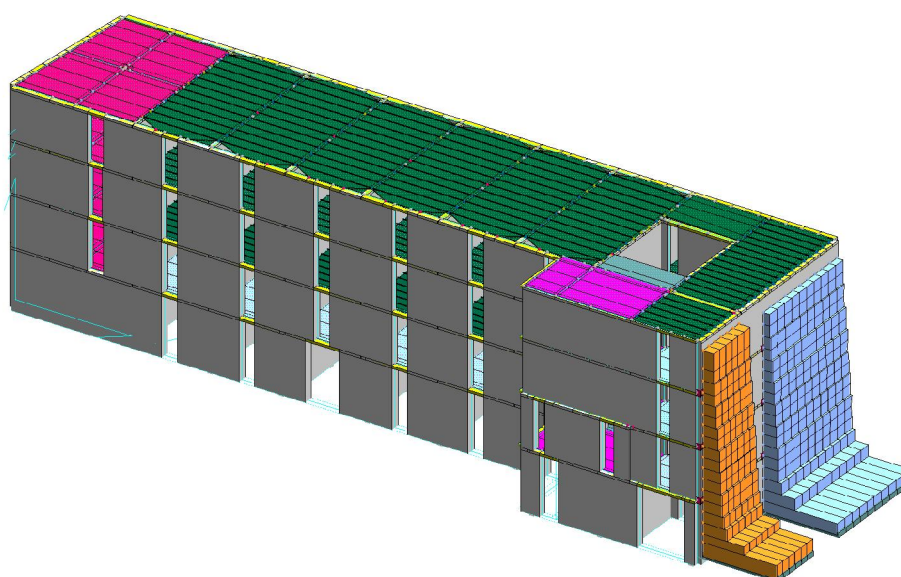


Quale ulteriore conferma del modello creato nel software, è stata effettuata tramite il programma una verifica degli elementi murari per una combinazione di carico di esercizio, per confrontarla con le attuali condizioni dell'opera, ed i risultati hanno confermato le attese: gli elementi murari non verificati sono tre, si trovano nel sottotetto e sono strutturalmente ininfluenti.

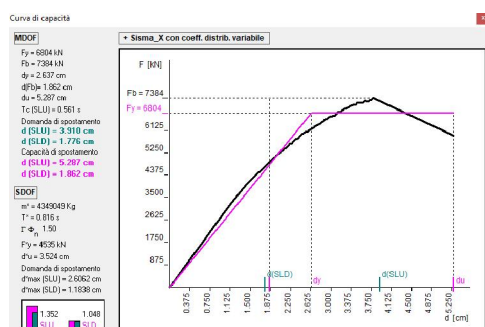
In seguito è stato eseguito il calcolo sismico che ha evidenziato numerosi pannelli murari non verificati a taglio e a pressoflessione.

All'analisi lineare è stata poi affiancata un'analisi statica non lineare (pushover), applicando all'edificio, caricato dai carichi gravitazionali, più sistemi di forza orizzontali monotonamente crescenti fino al raggiungimento delle condizioni ultime. Per le strutture in muratura quest'analisi è da considerarsi infatti uno strumento efficace di previsione approssimata della risposta sismica globale, nel caso di edifici in cui il meccanismo resistente è governato dalla risposta nel piano delle pareti, senza considerare eventuali meccanismi di collasso associati alla risposta dinamica fuori piano. La verifica di tali meccanismi va svolta con altri metodi. L'analisi globale di un edificio assume quindi significato quando i meccanismi di rottura per ribaltamento fuori dal piano sono prevenuti da opportuni dettagli strutturali quali la presenza di catene e/o cordonature.

Ne consegue che è di fondamentale importanza che il modello sia semplice, in modo che si abbia la possibilità di focalizzare l'attenzione sul meccanismo della risposta sismica. A tal fine è stata semplificata la struttura utilizzata per l'analisi dinamica modale. Sono state rimosse le strutture del tetto, le fasce di piano, estendendo le aperture fino all'intradosso dei solai e sono stati incastrati al suolo i maschi murari del piano terra. L'immagine seguente raffigura il modello utilizzato per condurre le analisi pushover.



Per ogni sistema di forze orizzontali il programma ha generato il diagramma avente in ascissa lo spostamento orizzontale del punto di controllo ed in ordinata la forza orizzontale totale applicata (taglio alla base).



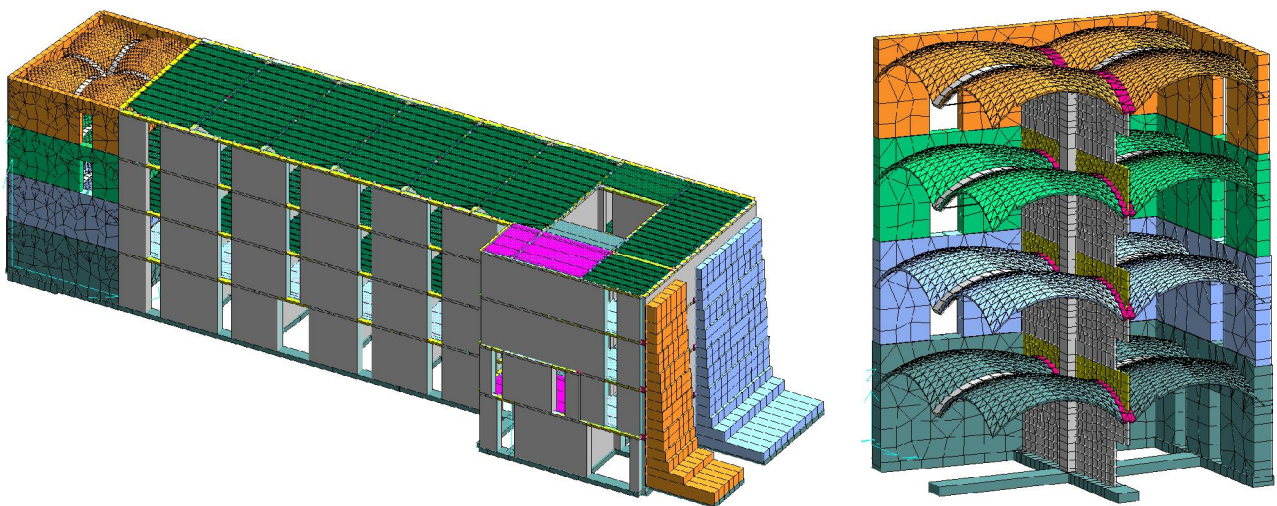
La curva di colore nero rappresenta la "curva di capacità" del modello di calcolo MDOF (Multiple Degree of Freedom), ossia rappresenta graficamente la relazione tra taglio alla base e spostamento del punto di controllo, determinata eseguendo un'analisi statica incrementale che viene interrotta quando il modello diventa labile e non è più possibile ridistribuire su altri elementi di struttura gli sforzi che hanno determinato la labilità. La curva bilineare di colore magenta è ottenuta idealizzando

quella precedente in due tratti, secondo quanto richiesto da normativa: su questa curva viene determinato la capacità di spostamento delle struttura, da confrontarsi con la domanda di spostamento, determinata ricorrendo ad un modello ausiliario ad un solo grado di libertà SDOF (Single Degree of Freedom), procedimento noto in letteratura con il nome di Metodo N2.

La struttura non supera la verifica nel solo caso dell'analisi con sisma in direzione y e con coefficiente di distribuzione variabile.

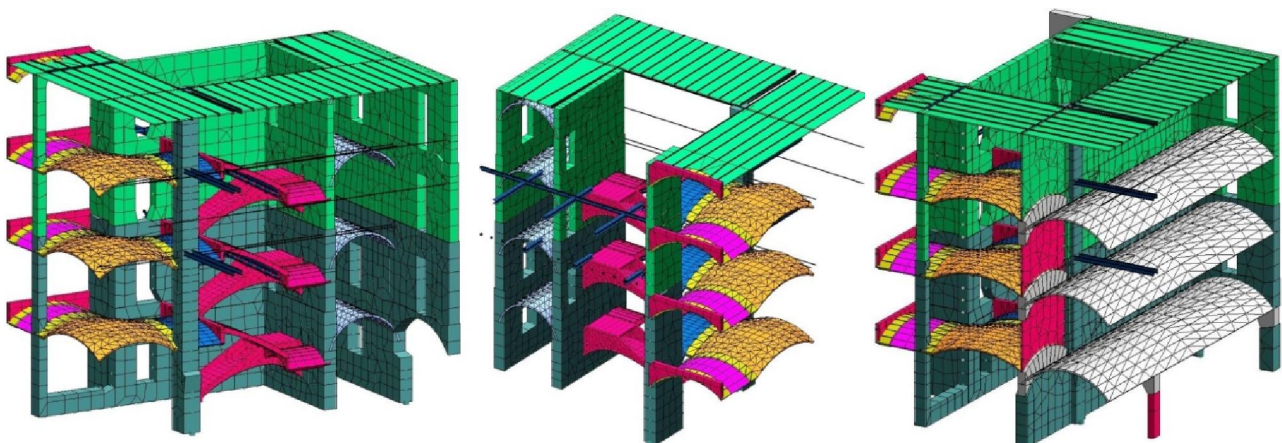
Per la verifica delle volte è stata effettuata una successiva modellazione ad hoc, rappresentandole con un modello che ne considera la forma effettiva e ne analizza lo stato tensionale, partendo dall'ipotesi che rigidità e resistenza a compressione siano nettamente superiori rispetto a quelle a trazione. Anche in questo caso si è proceduto alla taratura del modello applicando un caso di carico quasi permanente; dato che nella realtà fisica le volte appaiono complessivamente in buone condizioni, i coefficienti di sicurezza avrebbero dovuto essere ovunque superiori all'unità. Verificata la correttezza del modello è stata svolta la seconda analisi applicando alla struttura i casi di carico allo stato limite ultimo definiti dalla normativa.

Una nuova modellazione è stata effettuata per analizzare la parte ovest, le volte e i muri sono stati modellati per mezzo di gusci: per la parte restante del fabbricato, che serve esclusivamente per trasmettere alla prima le sollecitazioni derivanti dall'analisi sismica, è stato utilizzato il telaio equivalente.



Sono state aggiunte le catene, visibili, poste in direzione nord-sud mentre non sono state considerate in direzione est-ovest, dove un sondaggio e delle scansioni non ne hanno rilevato la presenza. Sono state modellate le tramezze in mattoni pieni, spesse 12cm, poste nel piano degli archi est-ovest di mezzeria poiché si ritiene che esse possano svolgere una funzione di supporto agli archi ribassati.

Si è proceduto in modo analogo per le volte e i muri della parte est.



La nuova destinazione a biblioteca determina un aggravio dei carichi sul solaio del primo piano, dove sono previsti depositi, mentre non comporta variazioni per gli altri orizzontamenti che non saranno soggetti a carichi superiori rispetto a quelli introdotti nel primo calcolo. I risultati relativi a tutti i casi di carico allo stato limite ultimo mostrano un buon numero di superfici non verificate e un valore delle tensioni massime che mostra l'inadeguatezza della struttura nei confronti dei carichi previsti dalla normativa.

Il nuovo modello di calcolo è stato aggiornato introducendo il nuovo carico e modificando le caratteristiche della muratura, che si è ipotizzato di rinforzare con intonaco armato, al fine di raddoppiare i parametri meccanici. Congiuntamente al suddetto intervento dovrà essere realizzato quello di rinforzo sulle fondazioni.

I risultati mostrano un netto miglioramento della risposta strutturale, anche se permangono carenze in alcuni elementi murari (colorati di giallo e magenta nell'immagine successiva).

Maggiori indicazioni riguardo alla convenienza ed alla fattibilità della ristrutturazione potrebbero essere ottenibili calibrando il modello su un progetto architettonico definitivo.

