

DESCRIZIONE DEL CONTESTO EDILIZIO

Il presente progetto è stato finalizzato al miglioramento sismico dell'edificio di proprietà comunale, l'istituto scolastico "ITC Comi" di Teramo. L'intervento proposto non ha trasformato l'edificio in un organismo edilizio in tutto o in parte diverso da quello esistente, non ha determinato incremento né di volumetria, né di superficie utile, ma ha conservato e valorizzato l'aspetto architettonico del plesso scolastico, aumentandone il grado di sicurezza globale e delle singole componenti strutturali, nel rispetto della normativa vigente.

DESCRIZIONE GENERALE DELLA STRUTTURA

A seguito dell'evento sismico principale del 06/04/2009 e del successivo sciame sismico, l'edificio ha riportato seri danneggiamenti alle componenti strutturali e non, tali da renderlo inutilizzabile e oggetto del presente progetto di miglioramento sismico. Si precisa inoltre che, a seguito del sisma dell'agosto 2016 e del gennaio 2017, il quadro dei danneggiamenti esistenti non ha subito stravolgimenti e non si sono evidenziate nuove criticità o danneggiamenti di altra natura per i quali si dovessero rendere necessari interventi di natura differente di quelli già previsti ed inseriti in fase di progetto definitivo.

E' stato realizzato un intervento mirato al **miglioramento sismico** della struttura in oggetto. Per poter valutare il livello di sicurezza della struttura è stata eseguita una doppia modellazione, una prima denominata ante operam in cui è stato descritto, attraverso il modello, lo stato di fatto in cui versava la struttura. Nella modellazione post operam invece sono state apportate tutte le modifiche di natura strutturale al fine di ottenere un livello di sicurezza sismica fino al raggiungimento di un determinato tempo di ritorno.

Il plesso scolastico è costituito da 3 distinti corpi di fabbrica principali, tra loro connessi e collegati, oltre ad elementi di collegamento (passerella, scale ed ascensore), tutti prospicienti su un cortile interno recintato, come in seguito specificato:

- edificio storico (1904-1914) destinato ad aule e laboratori, costituito da tre piani fuori terra oltre un piano sottotetto ed un seminterrato, avente struttura portante in muratura e copertura con capriate in legno di tipo a padiglione e manto con tegole marsigliesi. La superficie coperta complessiva di tale edificio è pari a 6.687,30 mq, oggetto del presente progetto;
- edificio annesso (1965-1970) destinato ad aule e laboratori, costituito da tre piani fuori terra, avente struttura portante intelaiata in calcestruzzo armato e copertura a falde, non interessato dal presente progetto;
- edificio annesso palestra (1965-1970), costituito da un piano fuori terra, avente struttura portante intelaiata in calcestruzzo armato e copertura piana non interessato dal presente progetto;

- il collegamento tra i vari corpi di fabbrica è realizzato tramite una passerella in acciaio, vincolata strutturalmente ai due edifici principali (edificio storico ed annesso), non interessato dal presente progetto;
- a servizio dei plessi scolastici sono presenti n°2 scale di emergenza in acciaio esterne, una per ciascun plesso oltre un impianto ascensore anch'esso esterno a servizio dell'edificio storico. Tali elementi strutturali sono strutturalmente indipendenti dagli edifici di cui sono a servizio e non sono interessati dal presente progetto;
- il cortile interno, risulta essere lo spazio destinato ai vari punti di raccolta in caso di emergenza, in quanto su di esso confluiscono sia le scale di emergenza dai piani superiori, che le uscite di sicurezza del piano terra.



Figura 1: facciata dell'ITC Comi di Teramo.

DESCRIZIONE STRUTTURALE

La struttura dell'edificio è realizzata in muratura portante, con setti ortogonali nelle due direzioni ben ammassati nella maggioranza delle situazioni ispezionate, orizzontamenti a volta di differente tipologia escluso l'ultimo impalcato realizzato con travetti in ferro e tavelloni e la copertura realizzata con struttura in legno massiccio di tipo spingente. La copertura, essendo stata nel corso degli anni oggetto di successivi e molteplici interventi di riparazione e rimaneggiamenti, si presentava con una struttura non identificabile nei classici schemi statici, ma con situazioni non accettabili staticamente (appoggi di travi in falso, appoggio di capriate su più punti, collegamenti di travi principali e secondarie, etc.), tali da imporre obbligatoriamente una sua sostituzione globale.

La struttura di fondazione, da quanto è risultato dalla documentazione acquisita, è posta ad una profondità di circa -3.50 mt dal piano di campagna e risulta essere realizzata con un inspessimento della muratura sovrastante, avente una sezione rettangolare mentre non si hanno ulteriori informazioni relativamente alle altre componenti strutturali. I tre piani destinati alle attività didattiche (terra, primo e secondo) sono collegati da n°2 scale interne disposte in posizione planimetrica opposta e sono collegati allo spazio esterno per mezzo di una scala di emergenza in acciaio,

realizzata con una struttura indipendente. Inoltre è presente un vano ascensore esterno a servizio dei tre piani fuori terra.

Gli impalcati di piano sono realizzati con volte di diversa tipologia, al piano seminterrato, terra e primo, mentre al piano secondo sono realizzati con putrelle un acciaio e tavelloni. La copertura è realizzata con tipologia a padiglione, realizzata con travi in legno massiccio costituenti, l'orditura principale e secondaria, al di sopra della quale è posizionata la listellatura in abete per il sostegno del manto di copertura in tegole marsigliesi.

Relativamente allo stato di danno e/o alle carenze strutturali, è stato possibile affermare che:

- la struttura portante, principalmente al piano primo e secondo era interessata da un quadro fessurativo rilevante, riferito sia ai singoli elementi strutturali che all'ammorsamento dei vari setti murari;
- la struttura di copertura, oltre che ad essere, in alcune zone, di tipo spingente e non contenuta da nessun cordolo perimetrale, presentava numerosi dissassamenti e diseallineamenti tra le travi in legno e le differenti orditure, puntellamenti e sostegni non compatibili con lo schema statico;
- erano presenti alcuni setti murari che partono dal piano terra fino alla copertura e sono in falso rispetto alla muratura sottostante del piano interrato.

DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

La modellazione della struttura, è stata eseguita descrivendo in maniera dettagliata tutti gli ambienti di ogni impalcato di piano, riportando nella modellazione gli spessori delle murature come da rilievo effettuato in sito, e tutte le aperture, (porte, finestre, portefinestre e nicchie).

L'edificio risulta regolare in pianta, la regolarità in altezza invece è garantita dalla particolare disposizione delle aperture, inoltre da una unità funzionale caratterizzata da struttura portante in muratura. L'ingombro complessivo del manufatto è valutabile considerando le dimensioni ad U da 64.90 m x 32.40 m. Le caratteristiche principali di quest'ultimo sono schematizzate nelle planimetrie riportate di seguito tratte dal rilievo architettonico.

La struttura portante del manufatto può essere suddivisa nei seguenti elementi strutturali:

- Muratura di fondazione di dimensione 70 x 150 cm;
- Muratura di svariate sezioni in mattoni pieni di malta e calce;
- Solai di impalcato realizzati con diverse modalità esecutive: volte in mattoni pieni, solai in latero-cemento e solai in putrelle e tavelloni;
- Soletta scalinata e cornicioni in muratura.

Sulla base delle conoscenze sinora acquisite, è stato redatto il progetto di miglioramento sismico dell'intero edificio, con particolare attenzione ai setti murari ed alla struttura di copertura, che tra l'altro, è stata oggetto di un rifacimento completo eliminando l'effetto spingente della stessa sulla struttura muraria. In seguito vengono riportate delle immagini rappresentative della modellazione eseguita, che in una prima fase è servita per la rappresentazione e valutazione della struttura nello stato ante operam, ottenendo la conoscenza del livello di vulnerabilità sismica dell'intero edificio corrispondente, pari al 27.93% come risulta dal tabulato di calcolo.

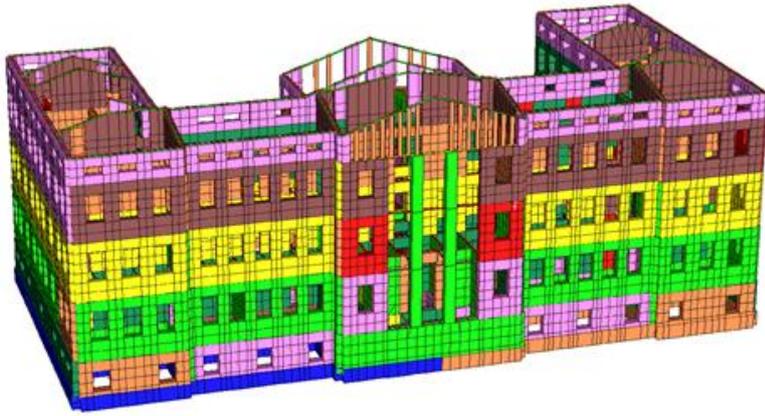


Figura 2: istituto scolastico, vista anteriore, stato di fatto.



Figura 3: istituto scolastico, vista posteriore, stato di fatto.

La struttura nel suo complesso, a causa sia di gravi manchevolezze originali dalla costruzione (es. murature portanti in falso, assenza di cordolo perimetrale, manomissione struttura di copertura) che di danneggiamenti dovuti al sisma (es. disammorsamento struttura lignea di copertura, danneggiamento architravi, etc.), ha un coefficiente di vulnerabilità sismica molto basso che la rendeva non idonea alla destinazione d'uso di edificio scolastico. Con il progetto di miglioramento sismico redatto, sanando alla fonte le gravi manchevolezze, e migliorando laddove possibile, i particolari costruttivi degli elementi strutturali (ammorsamento degli angoli, fasciature con materiali compositi, etc.), si è riusciti a riportare la resistenza all'azione sismica ad un valore accettabile (> 80% della domanda sismica) ed in linea con quanto previsto dalle vigenti normative e circolari.

Sulla base del modello rappresentativo dello stato ante operam, sono state inserite le proposte progettuali di miglioramento sismico di seguito elencate:

- chiusura di nicchie e rafforzamento di setti murari;
- chiusura e sarcitura di lesioni su pareti portanti in mattoni ed ammorsamento degli angoli;
- sostituzione integrale della copertura con formazione del cordolo sommitale in muratura;
- realizzazione incatenamenti di facciata;

- rinforzi di piastri in muratura facciavista con diatoni in acciaio;
- rinforzi intradossale di archi in muratura;
- rinforzi intradossale volte a crociera

È stato ottenuto lo stato post operam, sul quale mediante l'utilizzo di un programma di calcolo agli elementi finiti (MasterSap della ditta AMV Software Company), sono state eseguite tutte le verifiche necessarie all'attestazione del livello di sicurezza post intervento. L'obiettivo prefissato era quello di raggiungere un livello di vulnerabilità sismica, almeno pari all'60% della domanda sismica così come previsto dalla normativa vigente all'epoca del progetto (NTC 2008).

Di seguito vengono riportate delle immagini rappresentative della modellazione eseguita, che è servita per la rappresentazione e valutazione della struttura e determinazione del livello di vulnerabilità sismica dell'intero edificio nello stato post operam, superiore al 80% come risulta dal tabulato di calcolo.

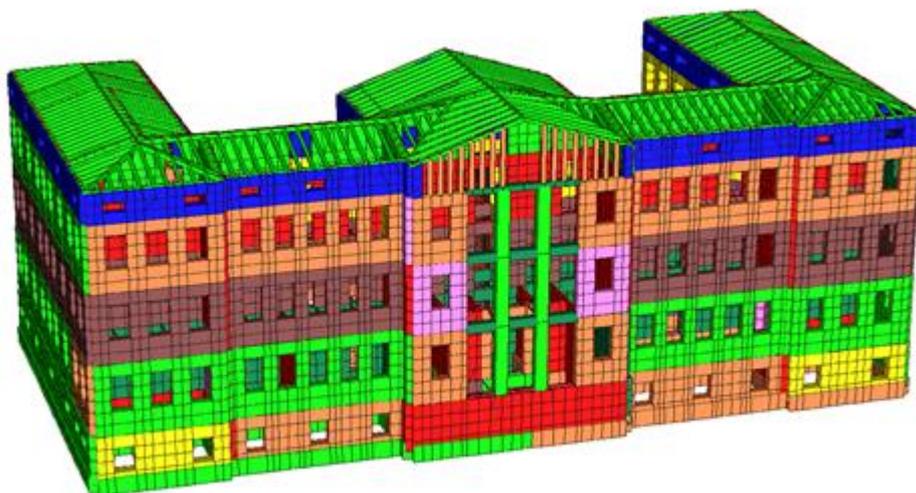


Figura 4: istituto scolastico, vista anteriore, stato di progetto.

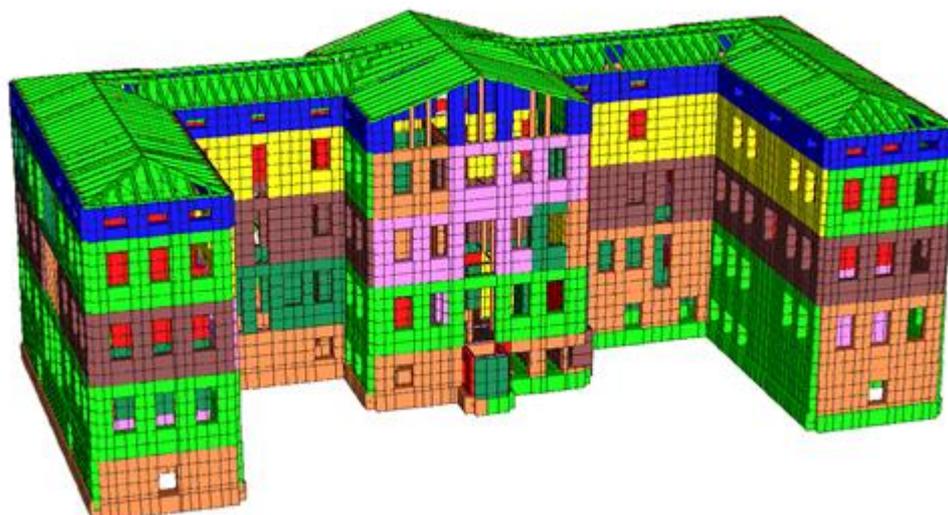


Figura 5: istituto scolastico, vista posteriore, stato di progetto.

NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI TECNICI

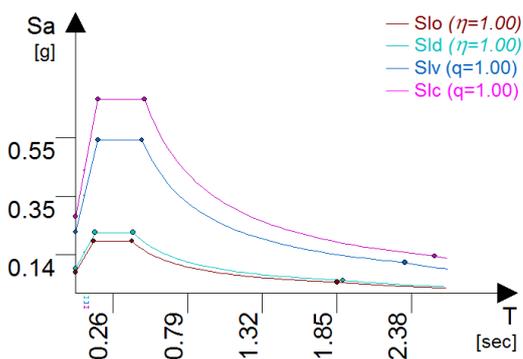
Il progetto presentato, si inquadra nell'ambito degli "Interventi in materia di edilizia scolastica" descritti nei Decreti n.61 e n.81 a firma del Commissario Delegato per la Ricostruzione. Tali Decreti, emanati in seguito agli eventi sismici che hanno colpito l'Abruzzo nell'Aprile 2009, unitamente alle normative tecniche riguardanti gli edifici esistenti, forniscono i criteri da seguire per l'individuazione degli interventi di adeguamento/miglioramento sismico da operare sui fabbricati ad uso scolastico. Le normative di riferimento rimangono comunque le Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14.01.2008).

DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO

In base alle coordinate del sito, ed in base ai parametri geofisici del terreno, si ottengono i parametri spettrali per i vari stati limite definiti dalle NTC. Alla costruzione corrisponde una **Vita Nominale di 75 anni**; il la costruzione è di **Classe III** (tab. 2.4.II). Si riportano di seguito i parametri sismici indipendenti di riferimento per la costruzione:

Stato limite	T_R [anni]	a_g/g	F_0	T^*c
SLO	30	0.063	2.47	0.28
SLD	50	0.074	2.45	0.29
SLV	475	0.183	2.49	0.35
SLC	975	0.236	2.53	0.36

Il suolo è stato definito di **Categoria B** (Cfr. Tab. 3.2.II) su **Superficie Topografica T1** (Cfr. Tab. 3.2.IV). Lo smorzamento convenzionale è stato assunto pari al 5%. Si riportano di seguito gli spettri elastici riferiti alla costruzione:



DESCRIZIONE DEI MATERIALI E DEI PRODOTTI AD USO STRUTTURALE

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate comunemente dal progettista e dal committente. A tal fine è stata posta attenzione al tipo della struttura, al suo uso e alle possibili conseguenze di azioni anche accidentali; particolare rilievo è stato dato alla sicurezza delle persone.

MURATURA IN MATTONI PIENI E MALTA DI CALCE

Per le riprese di muratura e la chiusura di nicchie con la tecnica del scuci e cuci, vengono utilizzati i mattoni pieni comuni di dimensioni pari a 24 x 12 x 5.5 cm, rispondenti ai requisiti tecnici (normative UNI) per le rispettive resistenze. La resistenza caratteristica a compressione media è pari a 56 N/mm², massa volumica assoluta 1910 Kg/m³, forza di adesione 0.3 N/mm², reazione al fuoco Euroclasse A1, assorbimento acqua 11.6%

Si assume una malta M10. In funzione della Tabella riportata nel punto 11.10.3.1.2 del D.M. 14/01/2008, interpolando tra i valori 7.5 e 10 di f_{bk}, si ottiene la resistenza caratteristica a compressione (f_k) della muratura pari a 4.66 N/mm².

MURATURA IN POROTON

Per il sottotetto valgono le prescrizioni previste per i materiali di nuova costruzione (vedi punto 11.10 del D.M. 14/01/2008). I blocchi utilizzati hanno spessore di 30 cm, sono di tipo semipieno con foratura $\Phi < 45\%$, idonei all'impiego anche per murature da realizzare in zona sismica, da mettere in opera con i fori verticali. Il peso specifico può essere valutato pari a 1300 daN/m³. La resistenza caratteristica del blocco è f_{bk} = 8.0 N/mm². Si assume una malta M10. In funzione della Tabella riportata nel punto 11.10.3.1.2 del D.M. 14/01/2008, interpolando tra i valori 7.5 e 10 di f_{bk}, si ottiene la resistenza caratteristica a compressione (f_k) della muratura pari a 4.66 N/mm².

CONGLOMERATO CEMENTIZIO

Si prevede l'utilizzo di conglomerato per calcestruzzo armato di classe **C25/30** omogeneo dalle seguenti caratteristiche meccaniche:

$$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad (\S 11.2.1 \text{ NTC08})$$

$$f_{cd} = \frac{25}{1.5} \cdot 0.85 = 14.17 \text{ MPa} \quad (\S 4.1.2.1.1.1 \text{ NTC08})$$

$$E = 314758 \text{ kg/cmq} \quad (\S 11.2.5 \text{ NTC08})$$

Viene assunto per il calcestruzzo un legame costitutivo di tipo parabola-rettangolo con deformazioni $\epsilon_{c2}=0.20\%$ e $\epsilon_{cu}=0.35\%$.

ACCIAIO DA CARPENTERIA B450C

Viene previsto in progetto un acciaio da carpenteria **B450C** caratterizzato da:

Resistenza caratteristica di snervamento $f_{yk}=450 \text{ MPa}$

Resistenza di snervamento di calcolo $f_{yd}=391 \text{ MPa}$

deformazione ultima $\epsilon_{yu}=6.75 \%$

ELEMENTI STRUTTURALI IN LEGNO LAMELLARE

I valori per il progetto in oggetto sono quelli propri della classe GL28h, secondo la classificazione prevista dalla normativa EN 1194. I valori di calcolo fanno riferimento alle norme UNI EN 1994-2000, con Classe di servizio 2.

VITI PER LEGNO, TASSELLI E BARRE FILETTATE

Viti auto foranti per legno, come da codici indicati sull'esecutivo strutturale, Tasselli meccanici Fischer o Hilti. Viti standard indicate sull'esecutivo strutturale.

MURATURA PORTANTE

Classe di esecuzione muratura: 2

Categoria elementi resistenti: cat II - Malta qualsiasi

Classe malta: M 5

Resistenza caratteristica a taglio della muratura f_{vk} limitata

Tipologia elemento: Laterizio semipieno

f_{bk}	f_{bkh}	f_k	f_{vk0}	$\gamma_{m,stat}$	$\gamma_{m,din}$	$f_{d,stat}$	$f_{d,din}$	$f_{vk,lim}$	E_{mur}	G_{mur}	V_{mur}
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
10.00	2.00	4.70	0.20	3.00	2.00	1.57	2.35	2.80	4,700	1,880	0.25

ILLUSTRAZIONE DEI CRITERI DI PROGETTAZIONE

Il comportamento della struttura sotto le azioni statiche e dinamiche è stato adeguatamente valutato, adeguato e trasferito nel modello che si caratterizza per la sua impostazione completamente tridimensionale. Nel caso in esame ai nodi strutturali del modello in elevazione convergono elementi bidimensionali, ovvero elementi "shell". La costruzione è stata progettata in classe di duttilità bassa CD "B".

La tipologia strutturale è edificio pluripiano in muratura portante, caratterizzata da elementi in laterizio pieno "mattoni" e malta di calce.

La fondazione è stata modellata mediante l'uso di elemento trave di fondazione "shell" con il relativo coefficiente applicato per la modellazione del terreno di posa.

Il comportamento del terreno è rappresentato mediante una schematizzazione lineare alla Winkler principalmente caratterizzabile attraverso un'opportuna costante di sottofondo.

È stata adottata un'analisi lineare e i parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano principalmente il modulo di Young e il coefficiente di Poisson.

La presenza di solai ai vari livelli non è stata gestita attraverso una relazione fra i nodi strutturali coinvolti, volta a condizionare il movimento relativo, (piano rigido), solo nell'ultimo impalcato (sottotetto) in cui è previsto il rifacimento dalla caldana superiore del solaio dello spessore di 5 cm, con l'aggiunta di armatura metallica, viene pertanto inserita la relazione di corpo rigido.

All'interno del post processore denominato MasterMuri, sono stati identificati tutti i maschi murari da portare a verifica, a seguire un'immagine esplicativa della verifica di tutti le murature.

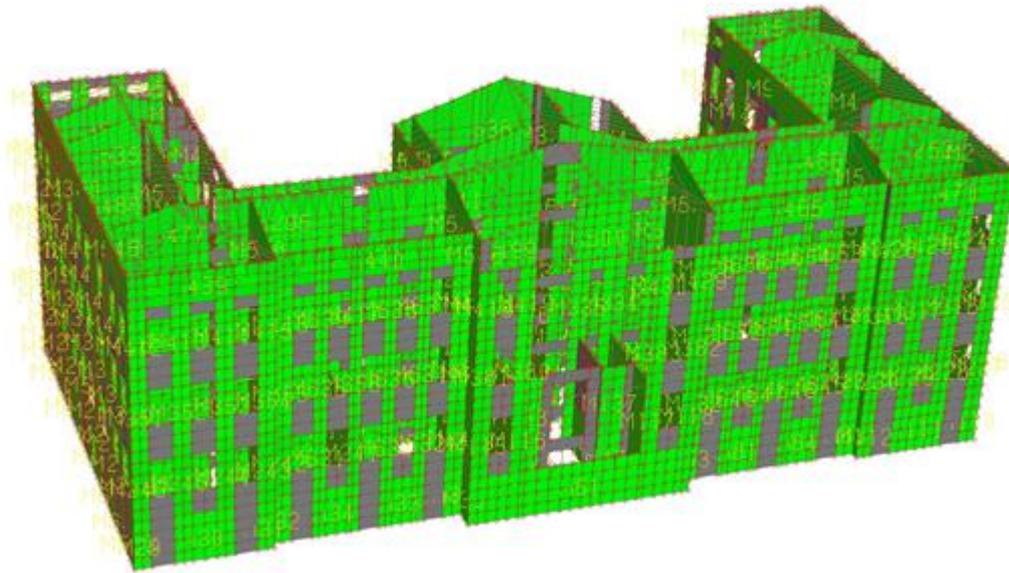


Figura 6: identificazione dei maschi murari utilizzati nelle verifiche.

Nel modello, per la verifica, sono stati considerati tutti i maschi murari, identificati e verificati secondo i seguenti indici di resistenza:

- tensione verticale,
- taglio;
- pressoflessione nel piano;
- pressoflessione fuori dal piano.

Tutti gli elementi lignei sono stati considerati come elementi semplicemente appoggiati, al fine di ottenere la verifica più restrittiva.

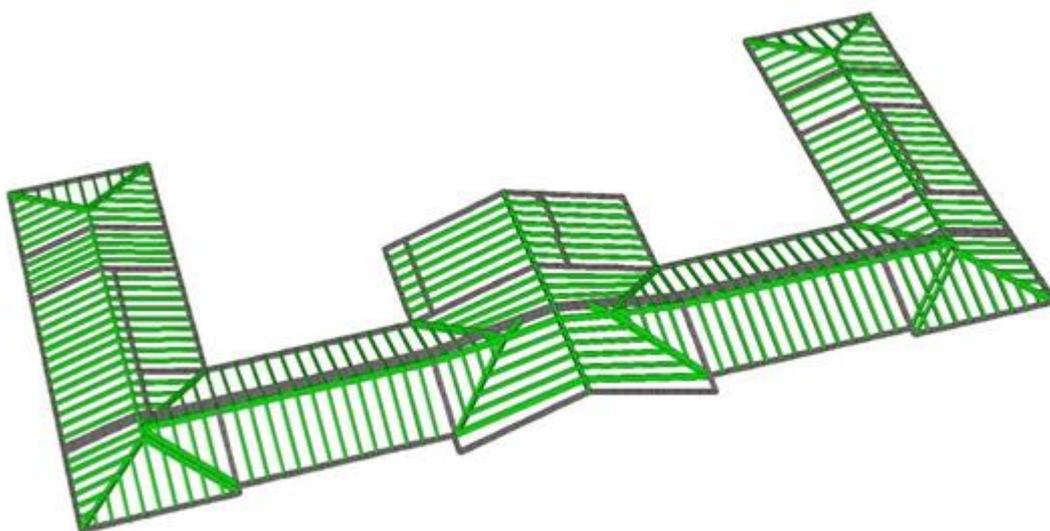


Figura 7: nuova copertura di progetto.

La modellazione ad elementi bidimensionali è assolutamente da preferire a quella a “telaio equivalente” perché è l'unica in grado di rappresentare degnamente il comportamento scatolare dell'edificio. Le pareti murarie disposte nelle direzioni principali in pianta dell'edificio, collegate ai solai, rappresentano infatti un insieme scatolare in grado di sostenere anche le condizioni di carico straordinarie imposte da un evento sismico. Segnaliamo che adottando una modellazione a telaio equivalente è impossibile modellare configurazioni strutturali articolate; inoltre si introducono approssimazioni non trascurabili, ad esempio perché non si riesce a riprodurre le condizioni di ammorsamento nello spigolo di confluenza fra più pareti, che non risultano così collaboranti. Inoltre la verifica dei maschi murari diventa critica, perché risultano sovrastimati gli effetti flettenti e penalizzate le verifiche a taglio che si basano sul contributo della sola parte compressa della muratura.

In definitiva si può banalmente osservare che i principi di base, le ipotesi e i modelli che vengono utilizzati per lo studio di edifici a pareti portanti (semplici e composte) in cemento armato possono essere estesi all'analisi di organismi a struttura muraria considerando, ovviamente, il comportamento e le specifiche proprietà meccaniche dei materiali costituenti. Negli edifici in muratura la resistenza alle azioni sismiche è legata alla capacità dell'impianto strutturale di mantenersi sostanzialmente integro e di ripartire le azioni orizzontali sui pannelli di controvento, evitando che l'organismo perda la sua struttura scatolare e subentrino meccanismi locali di ribaltamento tali da portare al collasso l'intera costruzione.

REGOLARITA' DELLA STRUTTURA IN PIANTA

La struttura è stata definita regolare in pianta in quanto rispettati i quattro punti riportati all'interno del cap. 7.2.2 della vigente normativa in vigore.

REGOLARITA' DELLA STRUTTURA IN ALTEZZA

La struttura viene definita regolare in altezza. Per costruzioni in muratura ordinaria il valore di q_0 può essere assunto pari a $2 \alpha_u / \alpha_1$ (§ 7.8.1.3 delle norme) (tabella 7.8.1). I valori di α_u / α_1 sono forniti nel § 7.8.1.3 costruzioni in muratura ordinaria a due o più piani con valore pari ad 1.8.

Per prevenire il collasso delle strutture a seguito della rottura delle pareti, i valori di q_0 devono essere ridotti mediante il fattore k_w , che per strutture regolari in altezza assume un valore pari ad 1. Nel caso di strutture a pareti progettate in bassa duttilità (CD "B") il valore massimo atteso del fattore di struttura vale: Considerando che l'edificio è regolare in altezza si assume un fattore K_R pari a 1. Il

fattore di struttura Q risulta quindi:

$$q = q_0 * k_r = 3.60$$

INDICAZIONE DEL METODO DI ANALISI ESEGUITO

Le verifiche sismiche della struttura sono state condotte con un'analisi statica sismica equivalente in campo lineare con adozione di spettro di risposta conforme alle Norme Tecniche per le Costruzioni

(D.M. 14.01.2008). L'azione sismica è calcolata mediante analisi statica lineare. I parametri che determinano l'azione sismica sono i seguenti:

NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	III
Vita di riferimento	75 anni
Spettro di risposta	Stato limite ultimo
Probabilità di superamento periodo di riferimento	10
Tempo di ritorno del sisma	712 anni
Località	Teramo - (TE)
ag/g	0.2105
F0	2.51
Tc	0.36
Categoria del suolo	B
Fattore topografico	1

DATI SPETTRO

Eccentricità accidentale	0%
Periodo proprio T1	0.5064 [C1 = 0.05 H = 21.91]
λ	0.85
Fattore q di struttura	qor=3.6
Duttilità	Bassa Duttilità
Sd (T1)	0.167 g
Coeff. globale accelerazione sismica	0.142

ANALISI SISMICA STATICA EQUIVALENTE

Come riportato dalla normativa tecnica per le costruzioni al cap. 7.3.2, per le sole costruzioni la cui risposta sismica, in ogni direzione principale, non dipenda significativamente dai modi di vibrare superiori, è possibile utilizzare, sia su sistemi dissipativi, sia su sistemi non dissipativi, il metodo delle forze laterali o "analisi lineare statica".

In essa l'equilibrio è trattato staticamente, l'analisi della struttura è lineare, si modella l'azione sismica direttamente attraverso lo spettro di progetto definito al cap. 3.2.3.4 o al 3.2.3.5 se dissipativa o non. Considerando la tipologia costruttiva del fabbricato, si è ritenuto opportuno procedere alla valutazione della sicurezza globale ricorrendo ad un'analisi statica sismica equivalente, applicando delle forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica.

Per l'analisi della vulnerabilità dell'edificio, si adotta una modellazione a gusci e piastre basata sull'impiego di elementi bidimensionali che schematizzano il comportamento strutturale dei maschi murari. Cautelativamente, si trascura il contributo delle fasce murarie di raccordo tra i maschi, ritenute, per via delle ridotte dimensioni (altezza e spessore), scarsamente incisive sulla risposta sismica globale dell'edificio. Analogamente viene trascurato il contributo resistente delle fasce

murarie sotto finestra; queste ultime, infatti, mostrano uno spessore modesto a causa delle numerose nicchie ricavate sui setti portanti per l'alloggiamento dei radiatori.

Il modello utilizzato per l'analisi sismica globale non tiene conto del livello seminterrato, considerato sufficientemente rigido da costituire un tutt'uno con il sistema di fondazione. Gli orizzontamenti sono stati considerati come carichi superficiali agenti sulla muratura portante sottostante non associando a questi un comportamento rigido.

RAPPRESENTAZIONE DELLE CONFIGURAZIONI DEFORMATE

Il programma prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione. Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi, si può pertanto asserire che l'elaborazione sia corretta e completa.

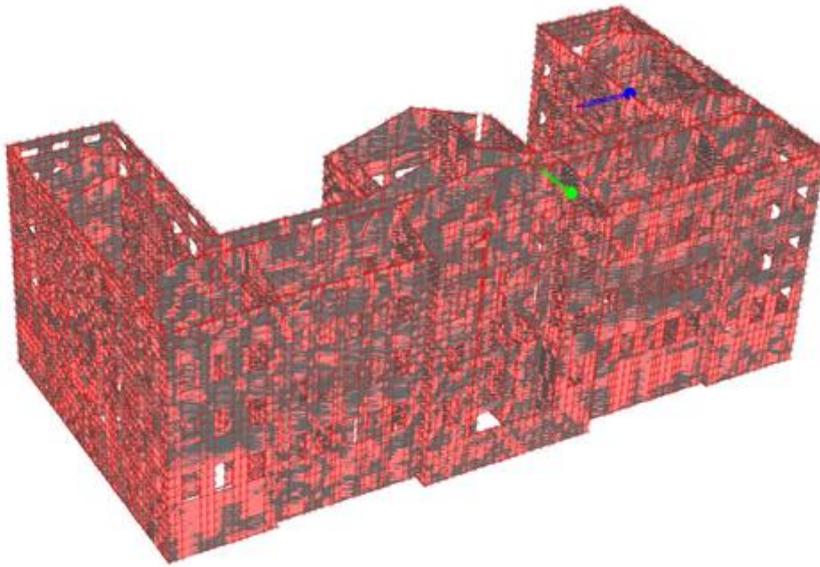


Figura 8: deformazione statica per la combinazione di carico statica.

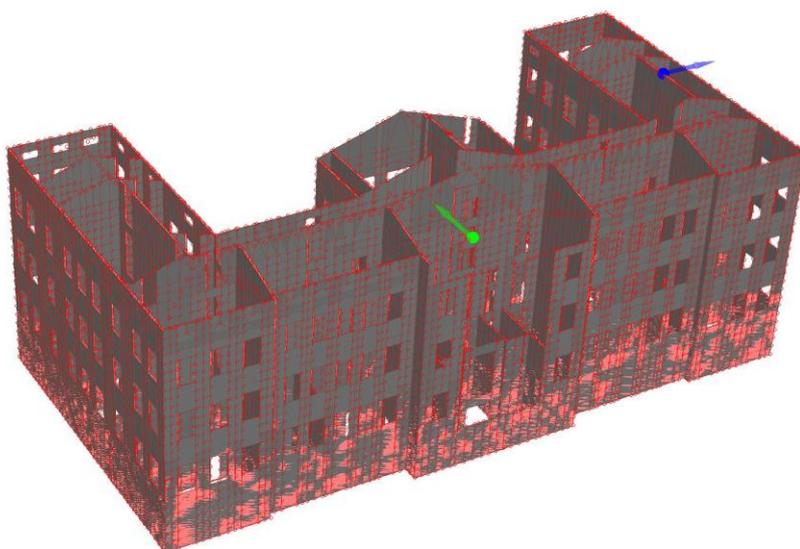


Figura 9: deformazione statica per azione sismica 100+X 30%+Y.

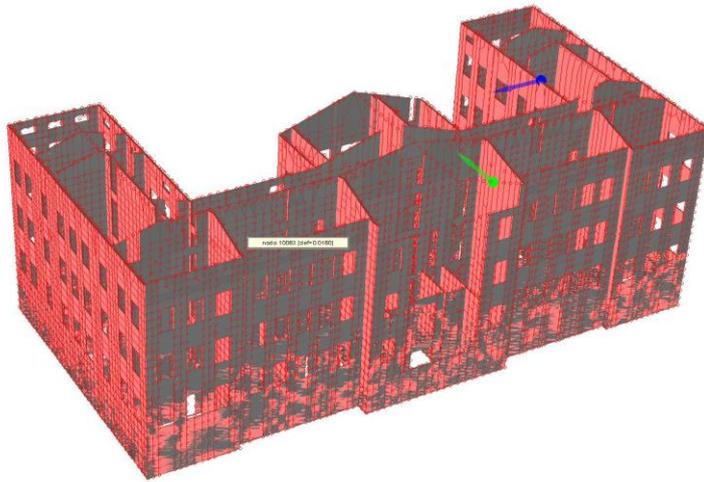


Figura 10: deformazione statica per azione sismica 100-X 30%+Y.

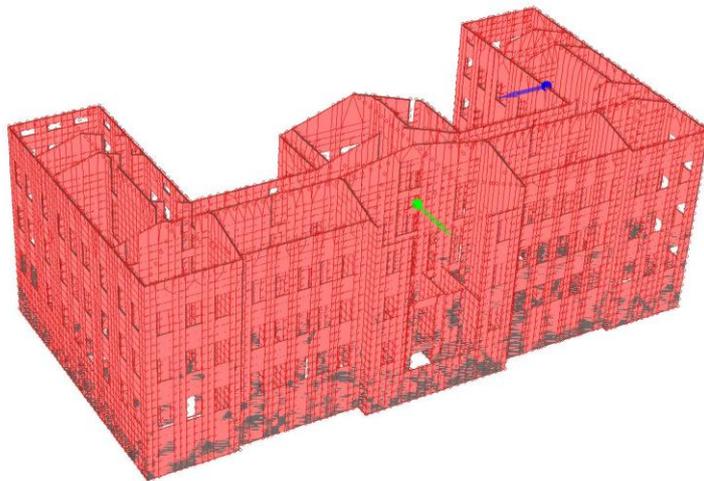


Figura 11: deformazione statica per azione sismica 100-X 30%-Y.

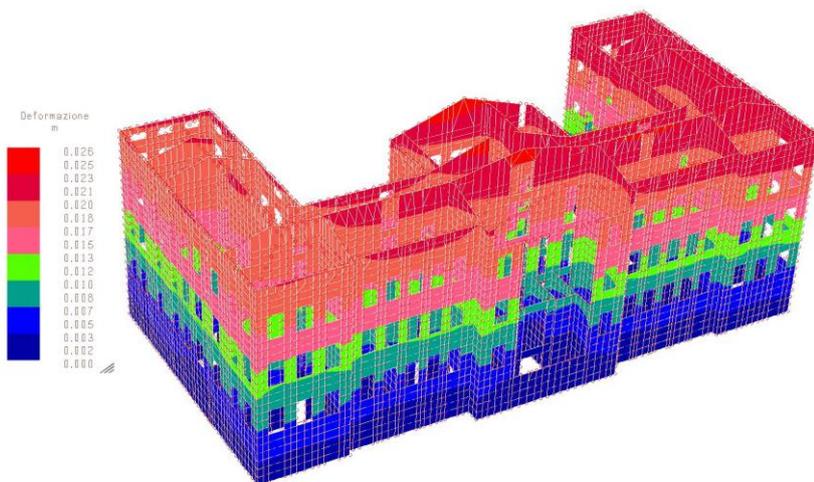


Figura 12: inviluppo delle deformazioni assolute

In base alle deformate sopra rappresentate, nonché sulla scorta delle verifiche di sicurezza effettuate, si ritiene accettabile il risultato dell'elaborazione di calcolo automatica.

STUDIO DELLE FONDAZIONI

La relazione, relativa al progetto per la realizzazione della struttura fondale del fabbricato destinato a civile abitazione, interessa il sistema fondale della costruzione, la quale è stata rilevata come prolungamento delle murature con un ringrosso laterale di circa 20 cm, come riportato nell'immagine a seguire.

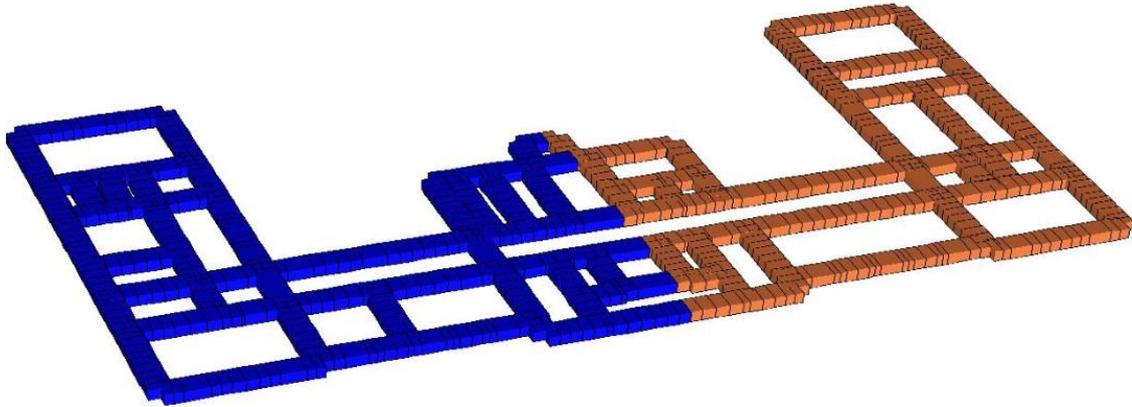


Figura 13: sistema delle fondazioni.

L'area sorge su un terreno ad andamento pianeggiante; le fondazioni sono costituite da un sistema di travi di forma rettangolare con dimensioni in sezione pari a 1.50 * 0.70 ml.

L'immagine di seguito inserita spiega attraverso una variazione di colore le differenti zone di pressione, arrivando ad un valore massimo di 184 kN/mq, pienamente verificato in base alla portanza massima del terreno di fondazione ed in base all'attuale condizione in cui versa, per il quale non è stata individuata alcuna tipologia di flessione o cedimento.

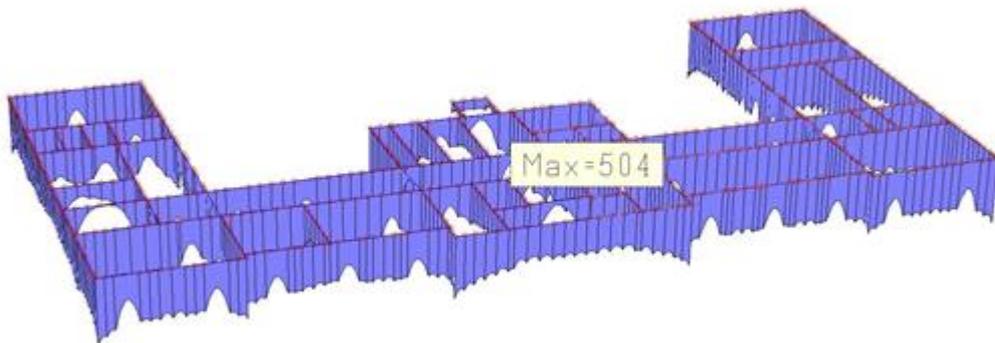


Figura 14: distribuzione delle pressioni in fondazione.

INDICAZIONE DELLA TIPOLOGIA DI INTERVENTO PREVISTO PER COSTRUZIONI ESISTENTI

Secondo quanto contenuto in §8.4 l'intervento proposto sono da considerare come **miglioramento sismico** interventi di miglioramento atto a raggiungere i livelli di sicurezza richiesti dalla norma;

LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

Si determina, in accordo con quanto sopra, il livello di conoscenza e il metodo di analisi, in base al materiale disponibile, alle prove effettuate in sito e in laboratorio, ai rilievi effettuati:

- ✓ VERIFICHE IN SITU LIMITATE
- ✓ INDAGINI IN SITU LIMITATE

Livello di Conoscenza	Fattore di Confidenza	Metodi di analisi consentiti
LC2	FC = 1.20	Tutti

DEFINIZIONE E CARATTERIZZAZIONE DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI ESISTENTI

In base ai risultati ottenuti dal riscontro visivo, nonché dalla campagna di prove in situ si possono riconoscere le seguenti tipologie murarie, indicate in Tabella C8A2.1.

- Muratura in mattoni pieni e malta di calce

I valori di riferimento dei parametri meccanici e peso specifico per la tipologia di muratura sopra indicata tenendo conto dei valori correttivi in Tabella C8A.2.2 per un livello di conoscenza LC2 sono i valori medi della Tabella C8A2.1:

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	W (kN/m ³)
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	320	7.60	1500	500	18

Descrizione degli interventi di miglioramento sismico adottati

Gli interventi di miglioramento sismico previsti sulla costruzione esistente, sono stati scelti considerando sia l'aspetto puramente prestazionale che quello di realizzazione tecnica considerando le condizioni al contorno (particolari elementi di pregio architettonici, impossibilità di rimuovere pavimenti in marmettoni, controsoffittature in legno di pregio, etc.), ponendo particolare attenzione a non alterare in maniera sostanziale lo stato di fatto dell'immobile sia sul lato esterno che sul lato interno. Di seguito vengono illustrati singolarmente ed in maniera dettagliata interventi previsti:

Ripresa di muratura mediante l'ammorsamento alla muratura adiacente, per la chiusura di nicchie ed aperture, utilizzando i materiali simili a quelli della muratura presente o con blocchi in laterizio di tipo Poroton, in ogni zona di intervento o chiusura di vuoti all'interno della muratura. La finalità dell'intervento di consolidamento sarà la ri-aggregazione dell'apparato murario mediante il riempimento di vuoti e discontinuità interne con idoneo prodotto compatibile con le caratteristiche chimico-fisiche della struttura originaria.

Riparazione di lesione su paramento murario mediante ripresa di muratura con l'ammorsamento alla muratura adiacente, utilizzando i materiali simili a quelli della muratura

presente in ogni zona di intervento. La finalità dell'intervento di consolidamento sarà la ri-aggregazione dell'apparato murario in laterizio, pietra o miste, mediante riempimento di vuoti e discontinuità interne con idoneo prodotto compatibile con le caratteristiche chimico-fisiche della struttura originaria.

Ricostruzione di parti di paramenti murari lesionati con la tecnica dello scuci-cuci.

Sostituzione completa della struttura di copertura in legno massiccio di tipo spingente con una nuova copertura in legno lamellare, previa la realizzazione di cordolature sommitali su tutte le murature portanti. Realizzazione di cordolature nel rispetto dell'analisi strutturale preventivamente eseguita e nel rispetto dello spessore delle murature, a qualsiasi altezza, di spessore non inferiore alla metà della muratura esistente il cui spessore minimo deve essere di almeno cm. 30 e ancorati nelle murature. Tale scelta progettuale mira al rispetto delle caratteristiche dell'involucro esistente ed alla necessità di riparare e mettere in sicurezza l'edificio scolastico danneggiato dagli eventi sismici iniziati il 06 aprile 2009. La copertura sarà completata con un piccolo elemento in aggetto (cornicione) realizzato mediante l'utilizzo di elementi in laterizio.



Figura 15: rimozione della copertura esistente.

Realizzazione incatenamenti di facciata, mediante installazione di fasce.

Rinforzi di pilastri in muratura faccia vista mediante confinamento puntuale e cucitura a secco con barre elicoidali in acciaio, svolto con eventuale trattamento di ripristino e preparazione delle superfici ammalorate.

Rinforzo e consolidamento di archi con placcaggio intradossale, con eventuale preparazione delle superfici da rinforzare.

Rinforzo di volta a crociera con realizzazione di rinforzo intradossale diffuso con rete in fibra naturale di basalto e acciaio Inox, per preservare e salvaguardare le pavimentazioni esistenti in maniera da garantire interventi non invasivi e comunque reversibili, evitando sostituzioni e ricostruzioni in stile.



Figura 16 e Figura 17: consolidamento degli archi e delle volte a crociera.

Descrizione degli interventi connessi al miglioramento sismico

In aggiunta agli interventi strutturali sopra descritti sono stati realizzati degli interventi edili e di finitura, connessi ai precedenti: demolizione e rifacimento massetti e pavimenti in alcuni vani del piano primo e secondo per il consolidamento dei solai; demolizione di tramezzature in alcuni vani del piano terra, primo e secondo a causa del completo disammorsamento dagli elementi strutturali e rifacimento in cartongesso con idoneo isolamento termico ed acustico; ripresa di intonaci interni in corrispondenza di zone ammalorate a seguito di infiltrazioni provenienti dalla copertura; rimozione e successivo rifacimento dell'intonaco del quarto impalcato, nell'intradosso solaio del piano secondo costituito da putrelle in ferro ed elementi di alleggerimento in laterizio, mediante la realizzazione di un intonaco a tre strati con la posa in opera di rete stampata in materiale sintetico; rifacimento

completo dell'impermeabilizzazione e del manto di copertura dell'edificio, comprese le opere di lattomeria necessarie per portare l'acqua a terra e convogliarla nella linea di scarico esistente; rasatura e stuccatura di pareti nei locali di servizio al piano terra, primo e secondo; tinteggiatura di pareti con idropittura e dei soffitti con tempera al piano terra, primo e secondo; intercettazione e successiva riattivazione delle linee dell'impianto termico presenti al piano sottotetto, con l'inserimento di sfiati e rubinetti di intercettazione ove necessario, senza modificare l'impianto esistente; spostamento, sistemazione, inventario e custodia del mobilio, attrezzature e macchinari presenti all'interno dei locali per eseguire le lavorazioni previste e successivo riposizionamento degli stessi previa pulizia generale degli ambienti.



Figura 18: consolidamento dei solai.

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA: RISULTATI DELLA VERIFICA DI SICUREZZA ANTE E POST

Per determinare la capacità della struttura nei confronti dell'azione sismica è stata eseguita una modellazione agli Elementi Finiti con l'ausilio d'idoneo software strutturale per la verifica delle strutture in muratura portante.

Per semplicità la valutazione nei confronti delle azioni sismiche si sintetizza in termini di picco di accelerazione orizzontale (PGA) che può essere sostenuto dall'edificio rispettando lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). Esso rappresenta la "capacità" dell'edificio (PGA_{CLV}), che va confrontata con la "domanda" (PGA_{DLV}), ossia con il picco di accelerazione che nel sito in cui l'edificio è posto ha una probabilità di essere superato pari al 10% in un tempo pari al periodo di riferimento dell'opera. Per costruzioni ordinarie e di importanza corrente, quali gli edifici privati ad uso abitativo, il periodo di riferimento è pari a 50 anni e, quindi, l'accelerazione che rappresenta la domanda è caratterizzata da una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Domanda: valori di riferimento delle accelerazioni e dei periodi di ritorno dell'azione sismica		
Stato Limite	Accelerazione (g)	T_{RD} (anni)

SLV	PGA _{DLV} 0.1826	T _{RDLV} 475
-----	----------------------------------	------------------------------

CONCLUSIONI

Le analisi svolte hanno mostrato un miglioramento della struttura nei confronti dell'azione sismica con valori rispettivamente pari a:

Indicatore vulnerabilità stato di fatto (α_u)	Indicatore vulnerabilità stato di progetto (α_u)
0.2793	0.8133

Grazie agli interventi sopra indicati, si è puntato ad ottenere un livello di adeguatezza della struttura (α_u) alle azioni sismiche, almeno pari a 0.80 nella situazione post operam, a fronte di un valore pari a 0.27 nella situazione ante operam, così come determinato con la verifica della vulnerabilità sismica eseguita. Gli interventi progettuali proposti hanno garantito oltre al miglioramento sismico degli elementi strutturali, una rapidità di realizzazione dell'intervento, la possibilità di eseguire interventi localizzati in modo da non avere costi aggiuntivi relativi alle finiture edili ad essi connessi, nonché il miglior rapporto costi-benefici.

Inoltre, particolare attenzione è stata posta nella scelta degli interventi di miglioramento da realizzare, relativamente al fatto che si tratta di un edificio vincolato, prevedendo una serie di interventi compatibili con la natura dell'immobile ed in linea generale rimovibili o comunque tali da non produrre sull'edificio delle modifiche sostanziali dei vari elementi costitutivi.

La finalità esecutiva dell'intervento è stata quella della conservazione integrale del manufatto, evitando integrazioni, sostituzioni, rifacimenti, ricostruzioni in stile. La salvaguardia di tutte le volumetrie originarie e storicizzate, le decorazioni e il rapporto tra i volumi architettonici mira alla preservazione dell'esistente stato di fatto, da conservare in quanto testimonianza delle tecniche costruttive adottate all'inizio del secolo scorso, epoca in cui è stato costruito il complesso edilizio in esame.

Gli interventi proposti, mirati ad un aumento globale della resistenza del fabbricato nei confronti dell'azione sismica, hanno consentito il raggiungimento di un livello di sicurezza allo SLV di molto superiore al 60%, valore minimo previsto dalla normativa.

Il Capogruppo del R.T.P.

Valter ing. Cimini