



Comune di Santa Soia d'Epiro

Provincia di Cosenza

Adeguamento strutturale e antisismico D.P.C.M. 8 luglio 2014
Scuola Elementare e Materna Piazza S. Attanasio

Progetto Definitivo

Elab.: R01

Relazione tecnica specialistica

Data

Progetto

Aggiornamento

Rapp.

Il Sindaco

Dott. Gianfranco Ceramella

Il Dirigente dell'UTC e Progettista

Ing. Francesco Giorgio

Indice

•	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	2
•	IDENTIFICAZIONE DELL'ORGANISMO STRUTTURALE.....	3
•	CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI	3
•	LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA	3
•	DESCRIZIONE DEL LAVORO SVOLTO.....	4
•	RELAZIONE D'INDAGINE	8
•	INTERVENTI PROPOSTI	15

RIEPILOGO PARAMETRI

Anno di costruzione	1960
Zona sismica al 1984	2
Zona sismica 2014	2
R_{c,d}	0,18
Volume edificio (mc)	5243,3

• DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

La presente relazione tecnica riguarda la verifica di vulnerabilità sismica e il successivo progetto per l'adeguamento sismico dell'edificio scolastico denominato "Scuola materna ed elementare Piazza S. Attanasio" sito nel Comune di Santa Sofia d'Epiro (CS), ai sensi delle NTC D.M. 14 gennaio 2008 integrate con la Circolare 2 febbraio 2009 N.617.

La valutazione della sicurezza sismica del fabbricato in questione viene condotta nel rispetto dei requisiti e dei procedimenti che vengono esposti dalle NTC 2008 integrate con la Circolare applicativa, relativamente agli edifici a struttura mista.

Lo scopo principale di tale approfondimento è quello di stabilire se l'edificio esistente è in grado o meno di resistere alla combinazione di progetto richiesta dalla norma; a tal fine le NTC e la Circolare applicativa forniscono gli strumenti per la valutazione della sicurezza dell'edificio.

Le costruzioni "esistenti" cui si applicano le norme sopra citate sono quelle la cui struttura sia completamente realizzata alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento.

Vengono introdotti, fra gli altri, i concetti di livello di conoscenza (relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali) e fattore di confidenza (che modificano i parametri di capacità in ragione del livello di conoscenza). Si definiscono le situazioni nelle quali è necessario effettuare la valutazione della sicurezza che, per le costruzioni esistenti, potrà essere eseguita con riferimento ai soli Stati limite ultimi. In particolare si prevede che la valutazione della sicurezza dovrà effettuarsi ogni qualvolta si eseguano interventi strutturali e dovrà determinare il livello di sicurezza della costruzione prima e dopo l'intervento. Per vulnerabilità sismica di un edificio si intende pertanto l'attitudine dello stesso a resistere ad un terremoto di progetto per mezzo delle capacità di deformazione e resistenza delle sue strutture verticali ed orizzontali.

L'edificio è stato realizzato nel 1960 ed è sempre stato adibito ad uso scolastico. Presenta una forma particolare in quanto mostra diversi corpi rettangolari non allineati fra loro formando così una figura geometrica priva di simmetria rispetto gli assi principali, assimilabile ad una forma ad L e inscrivibile in un rettangolo di lati (29,90 x 29,95) mt circa.

L'edificio presenta una fondazione a gradoni su due livelli differenti per poi mantenersi planimetricamente costante per tutti gli altri piani.

Il fabbricato si sviluppa su due piani fuori terra in muratura, ed un seminterrato anch'esso in muratura.

L'altezza interpiano è di 3,10 mt.

La copertura a falde con colmo nella parte centrale e con linea di massima pendenza ortogonale all'asse longitudinale del fabbricato.

La volumetria totale dell'edificio è di 5243,30 mc.

- **IDENTIFICAZIONE DELL'ORGANISMO STRUTTURALE**

Il rilievo geometrico-strutturale è stato riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza.

Nel rilievo sono state rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica. Il rilievo è stato svolto al fine di individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Sono stati rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno. Sulla base dei documenti reperiti e facendo seguito ai sopralluoghi e ai rilievi eseguiti presso la struttura scolastica è stato possibile identificare la geometria della struttura, la stratigrafia dei solai, la caratterizzazione dei muri portanti.

L'edificio è stato realizzato nel 1960 ed è sempre stato adibito ad uso scolastico. Presenta una forma particolare in quanto mostra diversi corpi rettangolari non allineati fra loro formando così una figura geometrica priva di simmetria rispetto agli assi principali, assimilabile ad una forma ad L e inscritta in un rettangolo di lati (29,90 x 29,95) mt circa.

L'edificio presenta una fondazione a gradoni su due livelli differenti per poi mantenersi planimetricamente costante per tutti gli altri piani.

Il fabbricato si sviluppa su due piani fuori terra in muratura, ed un seminterrato anch'esso in muratura.

L'altezza interpiano è di 3,10 mt.

La copertura a falde con colmo nella parte centrale e con linea di massima pendenza ortogonale all'asse longitudinale del fabbricato.

La volumetria totale dell'edificio è di 5243,30 mc.

Strutturalmente l'edificio è costituito da fondazioni con pietrame a spacco, strutture in elevazione con un'ossatura portante in muratura costituita da pietrame disordinato listato per tutti e due i piani, con eccezione di una porzione del secondo piano costituita da muratura in mattoni pieni; i solai sono del tipo latero-cementizi gettati in opera.

- **CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI**

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si è basati su documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali.

- **LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA**

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, sono stati individuati i "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.

- **DESCRIZIONE DEL LAVORO SVOLTO**

Il lavoro svolto si articola nelle seguenti fasi:

- **Definizione del livello di approfondimento per le indagini in sito:**

il livello di approfondimento delle indagini sull'edificio viene definito in relazione alle NTC 2008 e alla Circolare applicativa ed in base ai requisiti di regolarità geometrica dell'edificio; Una volta definito il livello di verifica, si definisce il Livello di Conoscenza dell'opera che dovrà sopportare una serie di prove sui materiali ed un'analisi dei dettagli costruttivi più o meno spinta. Da ciò si perviene alla definizione del Fattori di Confidenza cioè fattore riduttore della resistenza del materiale.

- **Analisi degli elaborati d'archivio storico:**

Vengono reperiti tutti i documenti inerenti l'opera oggetto di studio al fine di trarre spunti ed informazioni atti alla redazione del progetto d'adeguamento sismico, nonché definire i punti dell'edificio in cui è possibile saggiare i diversi materiali, essendo ad oggi la struttura intonacata quindi non ben visibili nelle sue parti strutturali.

- **Analisi dello stato di fatto:**

analisi dell'edificio per materiali, geometria ed eventuali problemi presenti, definizione del livello di approfondimento delle indagini in sito, in particolare dovranno essere reperiti informazioni di cui al punto C8A.1.B delle NTC 2008 e della Circolare applicativa.

- **Rilievo geometrico e fotografico dell'edificio:**

rilievo in sito delle caratteristiche geometriche dell'edificio e di ogni sua parte, rilievo fotografico dell'intero edificio e di ogni sua singolarità (fessure, crepe e cedimenti).

- **Rilievo dei dettagli costruttivi:**

Rilievo in sito realizzato con operatori idonei alle demolizioni di parti non strutturali senza intaccare le parti strutturali, al fine di leggere i dettagli costruttivi circa la presenza di architravi, solette di irrigidimento e strutture spingenti, elementi complementari potenzialmente vulnerabili.

- **Rilievo dello stato fessurativo:**

rilievo sulle condizioni attuali delle parti strutturali e dei tamponamenti per mettere in relazione le cause dei dissesti in atto con gli effetti prodotti da un potenziale evento sismico.

- **Definizione del livello di conoscenza:**

il livello di conoscenza viene definito dal livello di verifica e dalla tipologia strutturale dell'opera; nelle NTC 2008 e nella Circolare applicativa vengono definiti tre Livelli di Conoscenza a cui corrispondono Fattori di Confidenza da utilizzarsi nell'elaborazione del modello strutturale teorico.

- **Acquisizione dei parametri di resistenza e rigidezza mediati e correzione degli stessi:**

Dal rilievo realizzato in sito si acquisiscono i dati relativi alla resistenza media e rigidezza media, in particolare la definizione della curva di resistenza dell'elemento strutturale del tipo tensione-deformazione. I parametri di resistenza e rigidezza ottenuti vengono successivamente inseriti nelle banche dati materiali per l'elaborazione del modello strutturale.

- **Modellazione e verifica sismica:**

Dall'analisi del rilievo eseguito in sito e dall'acquisizione dei risultati delle prove distruttive e semidistruttive, si costruisce il modello di calcolo che meglio rappresenta il fabbricato oggetto di studio. Il modello deve rappresentare l'opera sia per geometria che per caratteristiche di rigidità, per dettagli costruttivi e per punti singolari, scartando gli elementi complementari che non vengono coinvolti nel lavoro di deformazione dell'intera struttura soggetta ad evento sismico. A seconda del livello di verifica da eseguirsi ed a seconda della tipologia strutturale presente, si opera secondo un'analisi che può essere del tipo elastica lineare ovvero plastica non lineare, modale o statica equivalente.

Il modello strutturale dell'edificio assume come ipotesi di base che i maschi murari abbiano un comportamento tipo shear-type, ovvero abbiano rotazioni al piede e in testa impedito e che il loro spostamento in pianta sia descrivibile come roto-traslazione rigida.

La prima ipotesi è generalmente accettabile ai fini tecnici quando sussiste fra le pareti un sufficiente grado di ammassamento tale da garantire un comportamento scatolare dell'insieme. In queste condizioni infatti, la presenza dei muri trasversali limita notevolmente la rotazione delle sezioni terminali delle murature, rendendo plausibile l'ipotesi di rotazioni impedito al piede e in testa. Inoltre, nel caso di setti adiacenti ad aperture, la deformabilità del collegamento può essere messa in conto, come in effetti si fa nel programma, attraverso un appropriato trattamento del nodo a dimensione finita.

Per quanto riguarda la seconda ipotesi, questa non discende dalla presenza di solai di piano sufficientemente rigidi da impedire la deformazione in pianta della struttura, in quanto nel caso specifico delle murature la rigidità dei solai, anche se realizzati in laterocemento, resta pur sempre bassa se comparata a quella della muratura portante, ma discende anch'essa dal comportamento scatolare dell'edificio. Se i muri sono validamente ammassati negli incroci, la pianta di un edificio murario può essere assimilata ad una sezione pluriconnessa e quindi manifesta una forte rigidità torsionale, anche in assenza di solai.

In questo contesto, la risposta ad una spinta orizzontale lungo un setto non produce effetti solo locali, ma porta ad una collaborazione dell'insieme dei setti, che si manifesta con una roto-traslazione dell'insieme e pertanto gli spostamenti in pianta risultano tali da poter essere decritti con buona approssimazione tramite un moto rigido del solaio.

La validità di entrambe le ipotesi resta ovviamente legata ad un pieno ammassamento agli incroci murari e ad una corretta realizzazione delle aperture, requisiti essenziali piuttosto comuni nelle costruzioni murarie. In tal caso le ipotesi forniscono un buon compromesso fra semplicità di analisi ed accuratezza di modellazione e sono accettabili ai fini tecnici, specie se si considera anche il livello delle approssimazioni coinvolte negli altri aspetti della modellazione (identificazione dei parametri elastici e di resistenza delle murature, valutazione dello stato di degrado ed altro).

Si può anche osservare che, all'estremo opposto, una modellazione apparentemente più sofisticata, che veda pareti separate trattate come strutture intelaiate, porterebbe a trascurare del tutto gli effetti legati alla rigidità torsionale della cassa muraria, con ciò perdendo l'aspetto forse più importante del comportamento della struttura.

L'analisi sismica è eseguita in campo statico non lineare, secondo una strategia incrementale push-over, considerando due diverse distribuzioni delle forze sismiche: una distribuzione lineare sull'altezza e una distribuzione proporzionale alle masse di piano, e facendo variare l'angolo di incidenza del sisma da 0 a 360 gradi secondo una scansione predefinita, tale da campionare in modo esauriente la risposta strutturale sotto sisma.

Inoltre, è stata eseguita una analisi dinamica modale in campo lineare, per determinare i modi di vibrazione dell'edificio e per valutare quindi le percentuali di massa eccitata sui singoli modi di vibrare, prodotte da ogni scansione sismica considerata nell'analisi statica non lineare, variabili in direzione e nella distribuzione delle forze sull'altezza.

Nel caso in esame, è stata adottata una scansione di incidenza sismica di 45 gradi. Sono state quindi eseguite analisi per 8 direzioni sismiche, ripetute per due diverse distribuzioni di forze sull'altezza.

Nell'ambito di una singola analisi si segue una tecnica incrementale che consiste nell'aumentare gradualmente il carico sismico e di controllare, in ogni passo di carico, il livello tensionale e deformativo raggiunto nei maschi.

La soluzione incrementale è ottenuta imponendo l'equilibrio tra il tagliante di piano, quale risultante delle forze sismiche cumulate sino al piano considerato, e la risultante degli sforzi di taglio distantesi in ciascun maschio, ottenuti in funzione dello scorrimento di interpiano e del legame elasto-plastico ad essi associato.

In particolare, il contributo dei maschi è limitato dalle resistenze ultime a taglio e a pressoflessione longitudinale e si annulla quando lo spostamento raggiunge il corrispondente valore ultimo. Il tipo di crisi sarà da presso-flessione o da taglio, in funzione dei rapporti di rigidezza e di resistenza fra le due risposte. Quando ciò avviene, il maschio è dichiarato collassato e non dà più alcun contributo nei passi di carico successivi. Nel corso del processo vengono registrati in continuo i valori raggiunti per il tagliante sismico e lo spostamento orizzontale di riferimento, in modo da costruire per ogni direzione sismica la curva di equilibrio forze-spostamenti. L'analisi si conclude quando si raggiunge lo stato limite di collasso, definito dalle condizioni indicate nella normativa.

Nella analisi pushover condotta intervengono i valori di resistenza e di duttilità dei maschi murari. I valori resistenti sono relativi alla risposta a taglio e a pressoflessione dei maschi e si ottengono in base alle caratteristiche meccaniche delle murature tenendo conto dell'effetto riduttivo del fattore di confidenza. I valori limiti di calcolo della duttilità si ottengono dai valori assegnati al tipo muratura, in base alle indicazioni di normativa, che definiscono i valori per lo stato limite di danno e per gli stati limite ultimi di collasso a taglio e a pressoflessione longitudinale.

Per tener conto inoltre di possibili effetti sfavorevoli all'estrinsecarsi della duttilità, ad esempio dovuti a fenomeni di localizzazione delle deformazioni o alla presenza di un danneggiamento già esistente, si applica a vantaggio di statica un ulteriore fattore di sicurezza sulle duttilità limiti pari a 1.56.

Lo stato limite di operatività è raggiunto quando il primo maschio murario raggiunge uno spostamento orizzontale relativo pari ad una aliquota ridotta di 2/3 del valore limite di danno (duttilità limite di operatività).

Lo stato limite di danno è raggiunto quando il primo maschio murario raggiunge uno spostamento orizzontale relativo pari al valore limite prefissato per tale evenienza (duttilità limite di danno).

Lo stato limite di salvaguardia vita è raggiunto quando, per effetto della progressiva eliminazione dei maschi murari arrivati a collasso (quelli cioè con spostamenti relativi maggiori della duttilità ultima a taglio o a flessione), la forza resistente manifesta una riduzione pari al 10% del valore massimo raggiunto.

La verifica di sicurezza nei confronti degli stati limite sismici S_{lo} , S_{ld} , S_{lv} viene effettuata controllando che per ogni direzione sismica la capacità di spostamento, valutata mediante l'analisi non lineare pushover, sia maggiore della domanda di spostamento che si ottiene costruendo il sistema bilineare equivalente ad un grado di libertà, valutandone il periodo proprio in base alla rigidezza elastica secante e ricavando lo spostamento richiesto dallo spettro elastico corrispondente allo stato limite di verifica, eventualmente amplificato con un fattore di correlazione fra sistema elastico e sistema anelastico.

Si controlla, inoltre, che il fattore di struttura $q = f_e / f_y$ del sistema bilineare equivalente, valutato come rapporto fra il taglio alla base ottenuto dallo spettro elastico e il taglio resistente, non ecceda il valore limite 3.0 per gli stati limite sopra menzionati.

Il risultato delle verifiche viene quindi riportato in maniera equivalente in termini di Pga, ovvero in accelerazione di picco al suolo, normalizzata alla categoria A (roccia). In particolare si valuta la capacità di Pga (accelerazione al suolo che produce il raggiungimento di un particolare stato limite) e la domanda di Pga (accelerazione al suolo fissata dalla normativa). Il fattore di sicurezza è quindi espresso come rapporto di Pga fra il valore di capacità e il valore di domanda.

Come già indicato in precedenza, l'analisi sismica globale contiene implicitamente le verifiche a pressoflessione longitudinale e a taglio. Le verifiche a pressoflessione e a ribaltamento fuori piano vengono invece eseguite separatamente in quanto la valutazione delle forze equivalenti indicate dalla normativa richiede la conoscenza di alcuni parametri meccanici, come il periodo proprio della struttura nella direzione di verifica, disponibili come risultato a conclusione dell'analisi globale. In questi casi si fa riferimento a modellazioni locali che tengono conto del grado di ammassamento fra muratura e solaio, per effetto dei cordoli e dei tiranti presenti.

- **Quadro complessivo delle verifiche eseguite:**

Sono eseguite tutte le verifiche richieste dalle Ntc08 per le costruzioni in muratura in assenza e in presenza di sisma, utilizzando il metodo degli stati limite.

La sicurezza sotto azione sismica è stata determinata con analisi statica non lineare, eseguita in accordo con le disposizioni contenute nelle Ntc08 e tenendo presenti le indicazioni fornite nelle relative istruzioni per l'applicazione, con riferimento agli stati limite di operatività (Sl_o), di danno (Sl_d), di salvaguardia vita (Sl_v).

Il quadro complessivo delle verifiche svolte è il seguente:

Verifica della snellezza dei setti.

Verifica della eccentricità massima trasversale.

Verifica eccentricità massima longitudinale.

Verifica a taglio per azioni non sismiche.

Verifica a pressoflessione trasversale per azioni non sismiche.

Verifica a pressoflessione longitudinale per azioni non sismiche.

Verifica a pressoflessione trasversale per azioni sismiche.

Verifica pushover dello stato limite di operatività.

Verifica pushover dello stato limite di danno.

Verifica pushover dello stato limite di salvaguardia vita.

Verifica del terreno di fondazione.

Verifica a ribaltamento.

Verifica dei collegamenti.

I carichi verticali sono stati computati mediante un cumulo progressivo degli scarichi dei solai ai piani, dei pesi propri delle murature, tenendo conto dell'influenza dei disassamenti prodotti da riseghe di spessore, dei meccanismi di trasmissione degli scarichi in corrispondenza delle aperture ed infine dei sovrasforzi generati dal sisma.

Nella valutazione degli sforzi normali si è tenuto conto dell'azione non contemporanea dei carichi accidentali riducendo il carico accidentale gravante ai piani sovrastanti; si è assunto un fattore riduttivo del 0% per il piano immediatamente sovrastante a quello considerato e del 15% per i piani superiori.

Le combinazioni di carico considerate sono le seguenti:

Statica locale: rappresentativa della combinazione di stato limite ultimo per le verifiche locali in assenza di sisma a pressoflessione trasversale, pressoflessione e taglio longitudinale, a ribaltamento;

Statica fondazioni: rappresentativa della combinazione di stato limite ultimo per le verifiche sul terreno di fondazione in assenza di sisma;

Sismica locale: rappresentativa della combinazione di stato limite ultimo per le verifiche locali in presenza di sisma a pressoflessione trasversale e a ribaltamento;

Sismica fondazioni: rappresentativa della combinazione di stato limite ultimo per le verifiche sul terreno di fondazione in presenza di sisma;

Sismica pushover: rappresentativa della combinazione dei carichi statici considerata nell'analisi sismica pushover, nella quale le azioni statiche così determinate sono mantenute costanti e si esegue un processo di carico incrementale sull'azione sismica, nel corso del quale si controllano le condizioni che determinano il raggiungimento degli stati limite di interesse.

Gli involucri delle azioni sono eseguiti combinando linearmente le azioni di carico, mediante fattori di involuppo assunti in valore minimo e in valore massimo. In particolare i fattori di involuppo per una particolare azione si ottengono come prodotto fra un fattore riduttivo ψ dipendente dal tipo di azione e un fattore γ dipendente dalla combinazione e dal tipo di azione considerata (permanente, variabile, sismica) e per il quale sono previsti valori minimo e massimo, da considerare in maniera indipendente.

Con tali regole di involuppo si determinano i valori estremi di variabilità (minimo-massimo) delle grandezze involuppate e per entrambi tali valori vengono eseguite le verifiche.

Nel seguente tabulato i fattori ψ e γ utilizzati sono riportati rispettivamente nelle tabelle delle Azioni di carico e delle Combinazioni di carico.

In accordo con le disposizioni della normativa, per le costruzioni in muratura non sono richieste verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio, quando siano soddisfatte le verifiche per gli stati limite ultimi.

- **Redazione degli elaborati grafici sulle strutture:**

Rappresentazione grafica dei risultati e dell'intervento mediante dettagli costruttivi specifici per intervento, descrizione degli stessi; il tutto completo di relazione di calcolo per elementi strutturali non soggetti a verifica sismica mediante software di calcolo come solai o travi in c.c.a.

- **RELAZIONE D'INDAGINE**

La Circolare C.S.LL.PP. 2.02.2009 N.617 definisce i criteri per la valutazione della geometria, delle proprietà dei materiali e dei dettagli costruttivi del fabbricato indagato. Sul fabbricato, in accordo con il Committente, è richiesto almeno un Livello di Conoscenza LC1. I Livelli di Conoscenza utilizzabili sono quindi LC2 (conoscenza adeguata) ed LC3 (conoscenza accurata).

L'analisi sarà svolta per un Livello di Conoscenza LC1 con verifiche in situ limitate dei dettagli strutturali, con prove in situ limitate per le proprietà dei materiali e un rilievo geometrico di dettaglio.

La conoscenza della costruzione in muratura oggetto della verifica è di fondamentale importanza ai fini di una adeguata analisi, e può essere conseguita con diversi livelli di approfondimento, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, dell'analisi storica e delle indagini sperimentali. Tali operazioni saranno funzione degli obiettivi preposti ed andranno ad interessare tutto o in parte la costruzione, a seconda della ampiezza e della rilevanza dell'intervento previsto.

La conoscenza della geometria strutturale di edifici esistenti in muratura deriva di regola dalle operazioni di rilievo. Tali operazioni comprendono il rilievo, piano per piano, di tutti gli elementi in muratura, incluse eventuali nicchie, cavità, canne fumarie, il rilievo delle volte (spessore e profilo), dei solai e della copertura (tipologia e orditura), delle scale (tipologia strutturale), la individuazione dei carichi gravanti su ogni elemento di parete e la tipologia delle fondazioni. La

rappresentazione dei risultati del rilievo viene effettuata attraverso piante, alzati e sezioni. Viene inoltre rilevato e rappresentato l'eventuale quadro fessurativo, classificando possibilmente ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, etc.), e deformativo (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, etc.). La finalità è di consentire, nella successiva fase diagnostica, l'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio.

I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- a) qualità del collegamento tra pareti verticali;
- b) qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- c) esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- d) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- e) presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- f) tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, non o senza riempimento a sacco, con o senza collegamenti trasversali, etc.), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, etc.).

Si distinguono:

- Verifiche in-situ limitate: sono basate su rilievi di tipo visivo effettuati ricorrendo, generalmente, a rimozione dell'intonaco e saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, e di ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti. I dettagli costruttivi di cui ai punti a) e b) possono essere valutati anche sulla base di una conoscenza appropriata delle tipologie dei solai e della muratura. In assenza di un rilievo diretto, o di dati sufficientemente attendibili, è opportuno assumere, nelle successive fasi di modellazione, analisi e verifiche, le ipotesi più cautelative.

- Verifiche in-situ estese ed esaustive: sono basate su rilievi di tipo visivo, effettuati ricorrendo, generalmente, a saggi nella muratura che consentano di esaminarne le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, e di ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti. L'esame degli elementi di cui ai punti da a) ad f) è opportuno sia esteso in modo sistematico all'intero edificio.

Particolare attenzione è riservata alla valutazione della qualità muraria, con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della "regola dell'arte". L'esame della qualità muraria e l'eventuale valutazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche hanno come finalità principale quella di stabilire se la muratura in esame è capace di un comportamento strutturale idoneo a sostenere le azioni statiche e dinamiche prevedibili per l'edificio in oggetto, tenuto conto delle categorie di suolo, opportunamente identificate, secondo quanto indicato al § 3.2.2 delle NTC. Di particolare importanza risulta la presenza o meno di elementi di collegamento trasversali (es. diatoni), la forma, tipologia e dimensione degli elementi, la tessitura, l'orizzontalità delle giaciture, il regolare sfalsamento dei giunti, la qualità e consistenza della malta. Di rilievo risulta anche la caratterizzazione di malte (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, livello di carbonatazione), e di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) mediante prove sperimentali. Malte e pietre sono prelevate in situ, avendo cura di prelevare le malte all'interno (ad almeno 5-6 cm di profondità nello spessore murario).

Si distinguono:

- Indagini in-situ limitate: servono a completare le informazioni sulle proprietà dei materiali ottenute dalla letteratura, o dalle regole in vigore all'epoca della costruzione, e per individuare la tipologia della muratura (in Tabella C8A.2.1 sono riportate alcune tipologie più ricorrenti). Sono basate su esami visivi della superficie muraria. Tali esami visivi sono condotti dopo la rimozione di una zona di intonaco di almeno 1m x 1m, al fine di individuare forma e dimensione dei blocchi di cui è costituita, eseguita preferibilmente in corrispondenza degli angoli, al fine di verificare anche le ammorsature tra le pareti murarie. E' da valutare, anche in maniera approssimata, la compattezza della malta. Importante è anche valutare la capacità degli elementi murari di assumere un comportamento monolitico in presenza delle azioni, tenendo conto della qualità della connessione interna e trasversale attraverso saggi localizzati, che interessino lo spessore murario.

- Indagini in-situ estese: le indagini di cui al punto precedente sono effettuate in maniera estesa e sistematica, con saggi superficiali ed interni per ogni tipo di muratura presente. Prove con martinetto piatto doppio e prove di caratterizzazione della malta (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, etc.), e eventualmente di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) consentono di individuare la tipologia della muratura (si veda la Tabella C8A.2.1 per le tipologie più ricorrenti). È opportuna una prova per ogni tipo di muratura presente. Metodi di prova non distruttivi (prove soniche, prove sclerometriche, penetrometriche per la malta, etc.) possono essere impiegati a complemento delle prove richieste. Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona. Le Regioni potranno, tenendo conto delle specificità costruttive del proprio territorio, definire zone omogenee a cui riferirsi a tal fine.

- Indagini in-situ esaustive: servono per ottenere informazioni quantitative sulla resistenza del materiale. In aggiunta alle verifiche visive, ai saggi interni ed alle prove di cui ai punti precedenti, si effettua una ulteriore serie di prove sperimentali che, per numero e qualità, siano tali da consentire di valutare le caratteristiche meccaniche della muratura. La misura delle caratteristiche meccaniche della muratura si ottiene mediante esecuzione di prove, in situ o in laboratorio (su elementi non disturbati prelevati dalle strutture dell'edificio). Le prove possono in generale comprendere prove di compressione diagonale su pannelli o prove combinate di compressione verticale e taglio. Metodi di prova non distruttivi possono essere impiegati in combinazione, ma non in completa sostituzione di quelli sopra descritti. Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona. Le Regioni potranno, tenendo conto delle specificità costruttive del proprio territorio, definire zone omogenee a cui riferirsi a tal fine. I risultati delle prove sono esaminati e considerati nell'ambito di un quadro di riferimento tipologico generale, che tenga conto dei risultati delle prove sperimentali disponibili in letteratura sino a quel momento per le tipologie murarie in oggetto e che consenta di valutare, anche in termini statistici, la effettiva rappresentatività dei valori trovati. I risultati delle prove sono utilizzati in combinazione con quanto riportato nella Tabella C8A.2.1, secondo quanto riportato al § C8A.1.A.4.

Con riferimento al livello di conoscenza acquisito, si possono definire i valori medi dei parametri meccanici ed i fattori di confidenza secondo quanto segue:

- il livello di conoscenza LC3 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi, indagini in situ esaustive sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1$;

- il livello di conoscenza LC2 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi ed indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1.2$;

- il livello di conoscenza LC1 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è $FC=1.35$.

Per i diversi livelli di conoscenza, per ogni tipologia muraria, i valori medi dei parametri meccanici possono essere definiti come segue:

- LC1

- Resistenze: i minimi degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione

- Moduli elastici: i valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta

- LC2

- Resistenze: medie degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione

- Moduli elastici: valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta - LC3 – caso a), nel caso siano disponibili tre o più valori sperimentali di resistenza

- LC3 – caso a), nel caso siano disponibili tre o più valori sperimentali di resistenza

- Resistenze: media dei risultati delle prove

- Moduli elastici: media delle prove o valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione

- LC3 – caso b), nel caso siano disponibili due valori sperimentali di resistenza

- Resistenze: se il valore medio delle resistenze è compreso nell'intervallo riportato nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione si assumerà il valore medio dell'intervallo, se è maggiore dell'estremo superiore dell'intervallo si assume quest'ultimo come resistenza, se è inferiore al minimo dell'intervallo, si utilizza come valore medio il valore medio sperimentale

- Moduli elastici: vale quanto indicato per il caso LC3 – caso a).

- LC3 – caso c), nel caso sia disponibile un valore sperimentale di resistenza

- Resistenze: se il valore di resistenza è compreso nell'intervallo riportato nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione, oppure superiore, si assume il valore medio dell'intervallo, se il valore di resistenza è inferiore al minimo dell'intervallo, si utilizza come

valore medio il valore sperimentale.

- Moduli elastici: vale quanto indicato per il caso LC3 – caso a).

La relazione tra livelli di conoscenza e fattori di confidenza è sintetizzata nella Tabella C8A.1.1.

Relazione tecnica illustrativa dell'intervento

Tabella C8A.1.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

<i>Livello di Conoscenza</i>	<i>Geometria</i>	<i>Dettagli costruttivi</i>	<i>Proprietà dei materiali</i>	<i>Metodi di analisi</i>	<i>FC</i>
<i>LC1</i>	<i>Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo .</i>	<i>verifiche in situ limitate</i>	<i>Indagini in situ limitate</i> <i>Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1</i> <i>Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1</i>	<i>Tutti</i>	<i>1.35</i>
<i>LC2</i>			<i>Indagini in situ estese</i> <i>Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1</i> <i>Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1</i>		<i>1.20</i>
<i>LC3</i>		<i>verifiche in situ estese ed esaustive</i>	<i>Indagini in situ esaustive</i> <i>-caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza)</i> <i>Resistenza: media dei risultati delle prove</i> <i>Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1</i> <i>-caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza)</i> <i>Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale.</i> <i>Modulo elastico: come LC3 – caso a).</i> <i>-caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza)</i> <i>Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale.</i> <i>Modulo elastico: come LC3 – caso a).</i>		<i>1.00</i>

Relazione tecnica illustrativa dell'intervento

Tabella C8A.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte; f_m = resistenza media a compressione della muratura, τ_0 = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm^2)	(N/cm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura $\leq 40\%$)	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura $< 45\%$)	400	30,0	3600	1080	12
	600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura $< 45\%$)	300	10,0	2700	810	11
	400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12
	200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura $< 45\%$)	300	18,0	2400	600	14
	440	24,0	3520	880	

Nel caso delle murature storiche, i valori indicati nella Tabella C8A.2.1 (relativamente alle prime sei tipologie) sono da riferirsi a condizioni di muratura con malta di scadenti caratteristiche, giunti non particolarmente sottili ed in assenza di ricorsi o listature che, con passo costante, regolarizzano la tessitura ed in particolare l'orizzontalità dei corsi. Inoltre si assume che, per le murature storiche, queste siano a paramenti scollegati, ovvero manchino sistematici elementi di connessione trasversale (o di ammorsamento per ingranamento tra i paramenti murari)

Relazione tecnica illustrativa dell'intervento

Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessioni trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
<i>Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)</i>	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
<i>Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e</i>	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
<i>Muratura in pietre a spacco con buona tessitura</i>	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
<i>Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)</i>	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
<i>Muratura a blocchi lapidei squadriati</i>	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</i>	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

** Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).*

In accordo con il Comune, con un operaio specializzato si è proceduto alla verifica dei dettagli costruttivi della struttura scolastica.

In particolare si è eseguito:

- Rilievo geometrico della struttura (spessore muri, posizione aperture,...)
- Saggi che consentano di prendere visione del tipo di muratura utilizzata, della sua tessitura sui paramenti esterni ed in senso trasversale, dei dettagli di ammorsamento utilizzati nei cantonali e negli incroci tra muri portanti, dello spessore e del tipo dei letti di malta;
- Qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti;
- Esistenza di architravi efficienti e di elementi atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- Rilevamento e rappresentazione di eventuale quadro fessurativo e deformativo ed identificazione di criticità strutturali eventualmente presenti;

• **INTERVENTI PROPOSTI**

Gli interventi proposti migliorano le condizioni generali dell'edificio e sotto un'azione sismica migliorano la risposta in termini di vulnerabilità sismica.

STRUTTURE DI FONDAZIONE

È previsto un intervento di consolidamento in fondazione mediante collegamento alla struttura di fondazione esistente con perfori e iniezioni di resina epossidica.

STRUTTURE IN ELEVAZIONE

È previsto un intervento di irrigidimento dei solai di piano.

L'intervento nello specifico prevede:

- Irrigidimento dei solai con realizzazione di perfori e iniezioni di resina epossidica e successiva realizzazione di massetto con rete elettrosaldata.

È, inoltre, previsto un intervento di irrigidimento strutturale dei maschi murari risultanti carenti alle azioni sismiche individuati nella modellazione strutturale.

RICOSTRUZIONI E FINITURE

Ricostruzione di divisori precedentemente demoliti.

Realizzazione degli intonaci interni.

Tinteggiatura interna.

Posa di pavimenti e rivestimenti.

Rifacimento e adeguamento di impianti tecnologici.

Recupero di impianto elettrico.

Cappotto esterno.

Tinteggiatura esterna.

Il Dirigente dell'UTC e Progettista

Ing. Francesco Giorgio