

Progetto di ristrutturazione di edificio con opere di miglioramento sismico

Ubicazione: Pavullo nel Frignano (MO).

Progettista e D.L. strutturale: Ing. Eugenio Boni – Modena

Anno: 2013 ultimato

Tipologia: edificio in muratura di laterizio

Descrizione dell'edificio oggetto di intervento e cenni storici.

Trattasi di un intervento da eseguire in un edificio del centro storico di Pavullo nel Frignano (MO), soggetto a vincolo di PRG di restauro e risanamento conservativo di tipo B. L'anno di costruzione del fabbricato risale al 1914, quando vi si insediò una storica ferramenta di Pavullo, che adibì i locali a piano terra a esercizio commerciale e quelli al primo e al secondo piano a magazzino a servizio della stessa. Alla chiusura dell'attività della ferramenta i locali a piano terra vennero utilizzati in parte come uffici di una banca, che vi si trova tuttora, e in parte come negozi, mentre i locali ai piani superiori rimasero inutilizzati. L'attuale progetto prevede un recupero dei locali ai piani superiori, mantenendo per il momento la destinazione di magazzino, con la possibilità di chiedere nel tempo il cambio d'uso ad abitazione. Non sono previsti interventi a piano terra e nel piano interrato delle cantine.

L'edificio su cui si interverrà ha forma rettangolare in pianta, di dimensioni 17x16 m. circa, ed è costituito da un piano interrato, un piano terra, un primo piano, un secondo piano non esteso a tutta la superficie, ed un coperto in legno. L'altezza in gronda è di 9.20 m. dal piano strada superiore, di 11.50 m. dal piano sotto strada. Attualmente la destinazione dei locali è quella di uffici e negozi a piano terra, di magazzini al primo e secondo piano, di cantine al piano interrato.

Il fabbricato oggetto di intervento fa parte di un aggregato edilizio più ampio a cui è connesso senza soluzione di continuità.



Figura 1: l'immobile oggetto dell'intervento.

Esito del rilievo geometrico-strutturale

E' stato eseguito un rilievo geometrico complessivo dell'edificio, nonché un rilievo particolare dei vari elementi costruttivi. Lo stato dell'edificio è nel complesso buono: non si notano dissesti, crolli o lesioni preoccupanti nei muri maestri. Fa eccezione il soppalco in legno sopra al primo piano, che è in pessime condizioni di manutenzione, ed anche la copertura in legno, da cui filtra acqua meteorica.

Descrizione dell'intervento in progetto.

L'intervento è volto a **consolidare il solaio a volti di copertura del piano terra, a sostituire quello di copertura del primo piano e a sostituire la copertura in legno, attraverso un intervento che porti ad un miglioramento della risposta del fabbricato alle azioni sismiche.**

Tale intervento consisterà, per sommi capi, nelle seguenti lavorazioni:

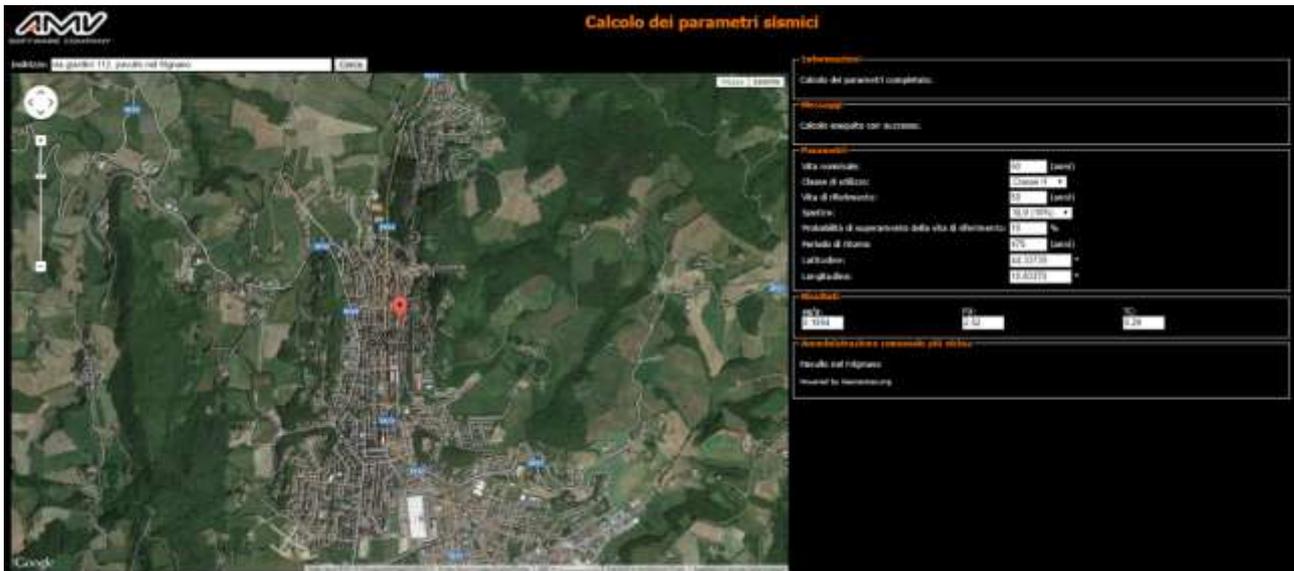
- consolidamento del solaio a volti di copertura del piano terra mediante svuotamento dal materiale di riempimento, getto di un calcestruzzo strutturale alleggerito armato e rifacimento della pavimentazione;
- rimozione dell'attuale solaio di copertura parziale del primo piano e creazione di un nuovo impalcato in ferro, legno e calcestruzzo che costituisca piano rigido per la struttura;
- demolizione di grosse porzioni di muratura di mattoni pieni al primo piano che non arrivano al coperto e per di più gravano in falso sul solaio del piano terra, al fine di alleggerire i carichi in fondazione e le masse strutturali che possono partecipare all'azione sismica;
- rimozione dell'attuale copertura in legno, ammalorata e instabile e sua sostituzione con una nuova copertura in legno lamellare, previa realizzazione di un cordolo in c.a.;
- rinforzo con intonaco armato di alcune delle murature interne;
- sostituzione di alcuni architravi di porte e finestre ritenuti insufficienti o ammalorati, con putrelle in acciaio;
- chiusura delle nicchie e delle asole presenti nei muri portanti e non più utilizzate, mediante operazioni di cuci e scuci.

Tipo di intervento dal punto di vista normativo

Il tipo di intervento in progetto verrà inquadrato come **miglioramento sismico** del fabbricato; infatti non si ricade nei punti individuati al p.to 8.4.1 del DM 14/01/2008 come interventi di adeguamento sismico: non si sopraeleva infatti la costruzione (a); non la si amplia (b); non si effettuano interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente (d); infine si dimostrerà come **non** verranno apportate variazioni di classe e/o destinazione d'uso che comportino un **incremento di carichi globali in fondazione superiore al 10%**. Infatti a fronte di un progetto che prevede la realizzazione di un nuovo solaio leggero esteso a tutta la superficie del 2° piano, mentre nello stato attuale l'orizzontamento del 2° piano è limitato ad una superficie più ristretta, si prevede di eliminare grosse porzioni di muratura staticamente non attive in quanto non arrivano al tetto e di sostituirle con tramezzature leggere; inoltre verrà alleggerito il solaio a volti a copertura del piano terra in quanto verrà svuotato dal materiale di riempimento che verrà sostituito con calcestruzzo strutturale alleggerito.

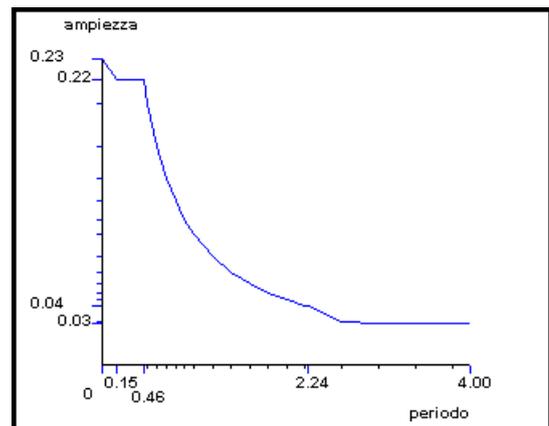
Individuazione del sito

Per il calcolo dei parametri sismici si utilizzano le mappe online disponibili al sito di AMV (<http://www.mappasismica.amv.it/>) ed integrate nel software MasterSap.



Parametri caratteristici del sito e sismici

NORMATIVA	
Vita nominale costruzione	50 anni
Classe di edificio costruzione	II
Vita di riferimento	50 anni
Spettro di risposta	Stato limite ultimo
Probabilità di superamento periodo di riferimento	10
Tempo di ritorno del sisma	475 anni
Località	Pavullo nel Frignano - (MO)
ag/g	0.1593
$F0$	2.52
Tc	0.29
Categoria del suolo	C
Fattore topografico	1
DATI SPETTRO	
Eccentricità accidentale	5%
Periodo proprio T1	0.3163 [C1 = 0.05 H = 11.7]
λ	1
Fattore q di struttura	$q_{pr}=2.7$
Duttilità	Bassa Duttilità
$Sd(T1)$	0.217 g
Coeff globale accelerazione sismica	0.217



Fattore di struttura q

L'impostazione del parametro q deriva dalle seguenti valutazioni:

struttura in muratura ordinaria non regolare in altezza (par. C8.7.1.2 Circ.)

$$q = 1.5 \cdot \alpha_u / \alpha_1$$

struttura in muratura ordinaria a due o più piani (par. 7.8.1.3 D.M. 14/01/2008)

$$\alpha_u / \alpha_1 = 1.8$$

Quindi: $q = 1.5 \cdot 1.8 = 2.70$

Tipo di analisi e modellazione della struttura

Si intende studiare l'edificio con un'analisi lineare di tipo statico sismico equivalente, come sempre ammesso per le strutture in muratura.

7.8.1.5.2 *Analisi lineare statica*

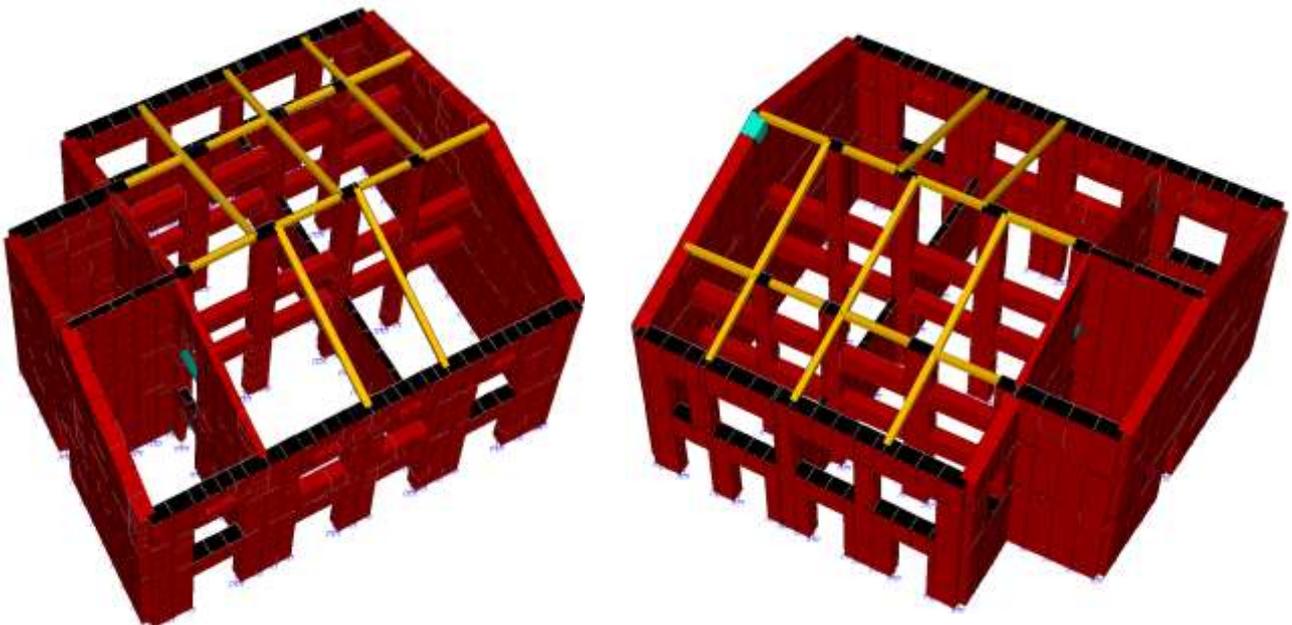
È applicabile nei casi previsti al § 7.3.3.2., anche nel caso di costruzioni irregolari in altezza, purché si ponga $\lambda = 1.0$.

Il modello di calcolo ad elementi finiti, utilizzato per le seguenti verifiche, è stato realizzato con il software MasterSap (www.mastersap.it) di AMV srl (www.amv.it).

I muri sono stati implementati con elementi bidimensionali tipo "shell", le travi del coperto in legno, quelle in acciaio dell'impalcato del sottotetto, e gli architravi di rinforzo mediante elementi monodimensionali tipo "beam"; le fondazioni saranno schematizzate mediante vincoli di incastro al piede dei muri.

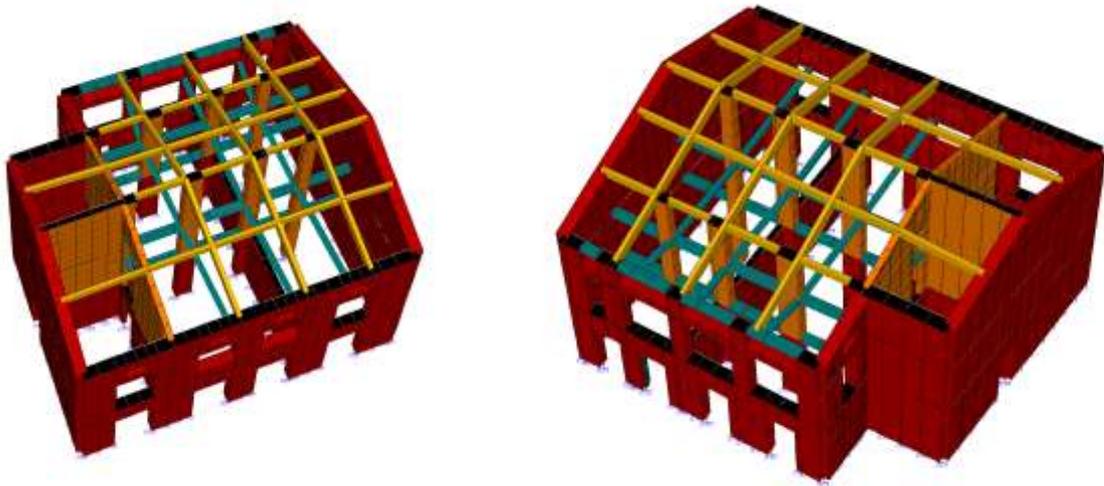
Di seguito si riporta la modellazione dello stato di fatto e dello stato di progetto della struttura.

Modello dello stato di fatto



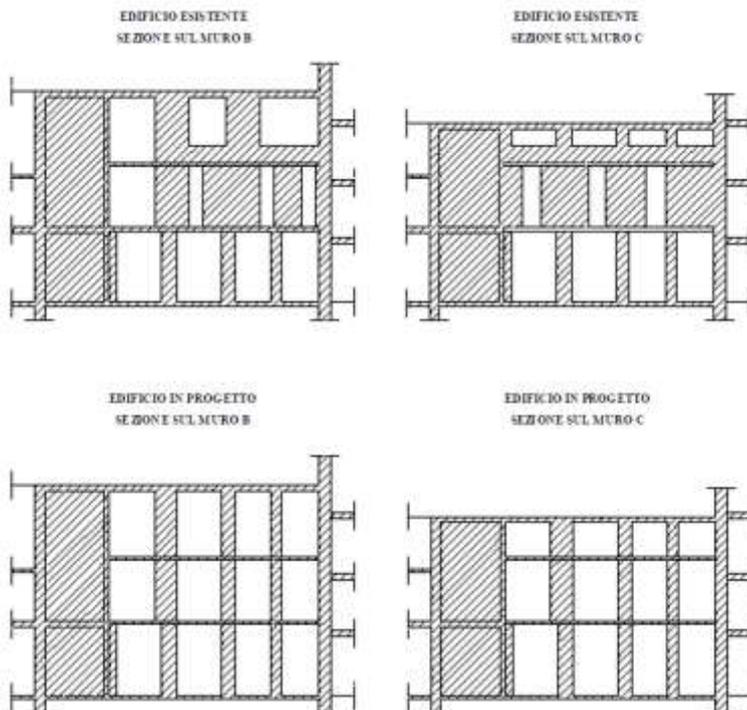
In rosso sono rappresentati gli elementi in muratura, in ocra le travi in legno.

Modello dello stato di progetto



In rosso sono rappresentati gli elementi in muratura, in arancio la muratura rinforzata con intonaco armato, in celeste i rinforzi in acciaio e in ocra le nuove travi in legno.

Nella figura sottostante sono rappresentate le pareti B e C nello stato esistente e in progetto: si può notare il forte alleggerimento che si ottiene nel progetto di miglioramento eliminando pareti staticamente non attive o in falso sul solaio del primo piano.



Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Per l'edificio in oggetto si assume cautelativamente il livello di conoscenza più basso, cioè **LC1**, corrispondente a una conoscenza limitata sia per quanto riguarda le verifiche in situ sui dettagli costruttivi, sia per le indagini in situ sulle proprietà dei materiali. La resistenza della muratura esistente sarà data dal valore minimo riportato nella tabella C8A.2.1 delle Istruzioni alle NTC2008 – allegato A, il suo modulo elastico sarà il valore medio dell'intervallo proposto nella medesima tabella. Il relativo valore del fattore di confidenza è **FC=1.35**.

Proprietà meccaniche dei materiali

Assimilando la muratura esistente a "muratura in mattoni pieni e malta di calce", i parametri meccanici a cui fare riferimento, così come indicato nella tabella C8A.2.1 delle Istruzioni alle NTC2008, sono i seguenti:

- resistenza media a compressione della muratura: $f_m = 24 \text{ kg/cm}^2$
- resistenza media a taglio della muratura $\tau_0 = 0.6 \text{ kg/cm}^2$
- modulo di elasticità normale $E = 15.000 \text{ kg/cm}^2$
- modulo di elasticità tangenziale $G = 5.000 \text{ kg/cm}^2$
- peso specifico della muratura $w = 1.800 \text{ kg/cm}^3$

da cui, applicando il fattore di confidenza $FC = 1.35$ si ha:

$$f_k = 24/1.35 = 17.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_0 = 0.6/1.35 = 0.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 15.000/1.35 = 11.111 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{vk0} = 0.7 \times 0.44 = 0.31 \text{ kg/cm}^2$$

$$G = 5.000/1.35 = 3.700 \text{ kg/cm}^2$$

Ai valori di resistenza saranno poi ulteriormente applicati i coefficienti parziali di sicurezza dei materiali, pari a 2 per le c.c. sismiche e pari a 3 per le c.c. statiche, mentre per i parametri elastici è stata assunta una rigidezza, sia flessionale che tagliante, fessurata e pari a 0.5 volte la rigidezza non fessurata.

Tali valori, nelle pareti in cui, in fase di progetto, si andrà ad applicare l'intonaco armato, verranno amplificati del fattore 1,5 come da tabella C8A.2.2 delle Istruzioni alle NTC2008, e pertanto saranno:

$$f_k = 36/1.35 = 26.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_0 = 0.9/1.35 = 0.66 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 22.500/1.35 = 16.666 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{vk0} = 0.7 \times 0.66 = 0.47 \text{ kg/cm}^2$$

$$G = 6.750/1.35 = 5.000 \text{ kg/cm}^2$$

Azioni sulla costruzione

STRUTTURA ESISTENTE

Solaio a volti a copertura piano terra

- p.p. putrelle e mattoni	110 kg/m ²	
- materiale di riempimento	240 kg/m ²	
- pavimento in piastrelle 6 cm	100 kg/m ²	

	450 kg/m ²	G1

Solaio in legno a copertura parziale 1° piano

- p.p. orditura principale e secondaria	80 kg/m ²	G2
---	----------------------	----

Coperto in legno

- p.p. orditura principale e secondaria e coppi	150 kg/m ²	G3
---	-----------------------	----

STRUTTURA IN PROGETTO

Solaio a volti rinforzato a copertura piano terra

- p.p. putrelle e mattoni	110 kg/m ²	
- cls. strutturale alleggerito	240 kg/m ²	
- pavimento in legno+caldana	200 kg/m ²	

	550 kg/m ²	G1

Nuovo solaio in ferro, legno e cls a copertura 1° piano

- p.p. orditura principale e secondaria	160 kg/m ²	
- pavimento+caldana+tramezze	200 kg/m ²	

	360 kg/m ²	G2

Coperto in legno

- p.p. orditura principale e secondaria e coppi	150 kg/m ²	G3
---	-----------------------	----

muratura in mattoni pieni 50 cm. 900 kg/m² G4

muratura in mattoni pieni 28 cm. 500 kg/m² G5

sovraccarico variabile magazzini (cat. E) 600 kg/m² Q1

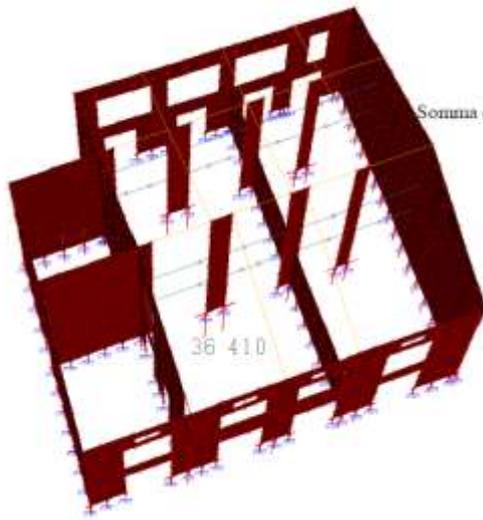
sovraccarico variabile abitazioni (cat. A) 200 kg/m² Q2

sovraccarico variabile scala (cat. C2) 400 kg/m² Q3

sovraccarico variabile neve (alt. 690 s.l.m.) 250 kg/m² Q4

Incremento di carico in fondazione non superiore al 10%.

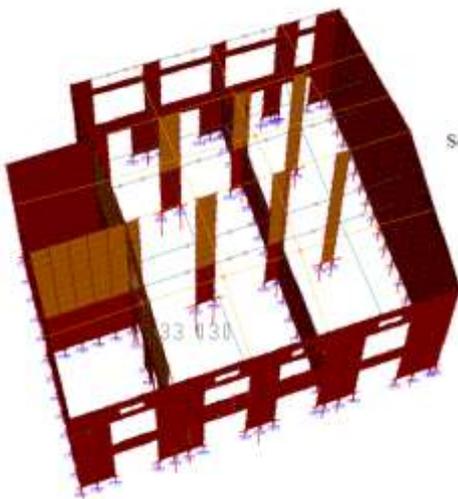
Di seguito si riportano i risultati nei due modelli di calcolo, stato esistente e stato di progetto, delle reazioni vincolari al piede dei muri, per la c.c. statica.



EDIFICIO ESISTENTE

Somma delle reazioni in direzione Z: 1.56622e+006

Reazione massima Z: 36410 al nodo: 23



EDIFICIO IN PROGETTO

Somma delle reazioni in direzione Z: 1.59831e+006

Reazione massima Z: 33030 al nodo: 23

Si può notare come la somma dei carichi al piede dei muri del piano terra, che è inizialmente di:

$\Sigma F_z = 1.566.000 \text{ kg}$, dopo l'intervento sia di:

$\Sigma F_z = 1.598.000 \text{ kg}$, con un aumento quindi del 2% appena.