

## GUIDA ALLA PROGETTAZIONE IN ZONA SISMICA 2

# Progettazione di un edificio residenziale in muratura armata in zona sismica 2

*Gli edifici di piccole e medie dimensioni sono spesso caratterizzati da numerose “irregolarità” strutturali, in pianta ed in altezza. Il presente contributo ripercorre le fasi salienti della progettazione alle azioni sismiche di un edificio residenziale di due piani, irregolare in pianta ed in altezza, realizzato in zona sismica 2.*

*L'impiego della muratura armata POROTON<sup>®</sup>, unitamente alla corretta concezione strutturale della costruzione, hanno permesso di raggiungere livelli di sicurezza estremamente elevati, come si desume dalla curva di capacità della struttura e dal confronto tra richiesta e capacità di spostamento.*

## 1. Descrizione dell'intervento

Il fabbricato in esame è un edificio di tipo residenziale unifamiliare realizzato nel comune di Santa Giustina (BL) classificato in zona sismica 2. Il corpo di fabbrica è costituito da una porzione principale di due piani fuori terra ad uso residenziale e da una porzione secondaria ad un solo piano fuori terra che funge da autorimessa a cui si accede tramite un'apertura di luce 4,35 m (Fig. 1, Fig. 2). L'ingombro in pianta è pari a circa 14,35×11,90 m<sup>2</sup>, l'altezza massima all'imposta di falda è di circa 5,0 m e non sussistono problemi in merito alla distanza dell'edificio dalla strada prospiciente. La costruzione è caratterizzata inoltre da una loggia che si affaccia verso ovest e da due pilastri sul prospetto nord-est, previsti esclusivamente per motivi estetici, che non assolvono alcun ruolo strutturale.



Fig. 1 – Vista ovest e nord del fabbricato al grezzo.

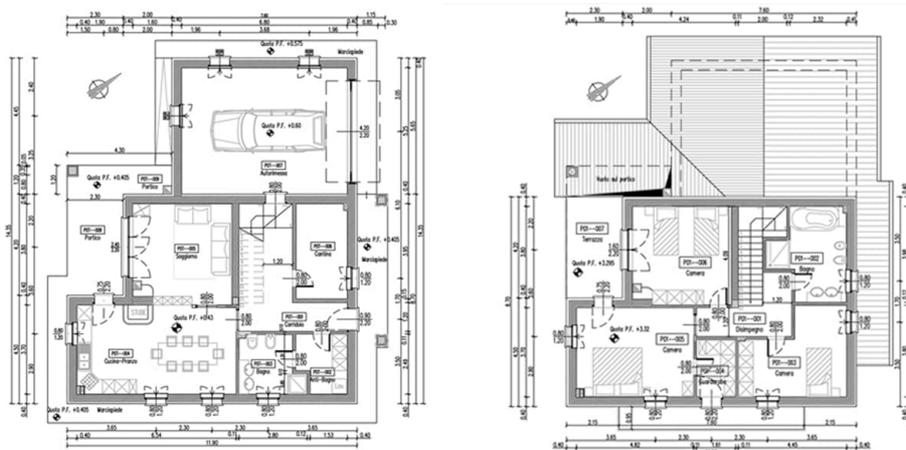


Fig. 2 – Pianta piano terra e piano primo del fabbricato.

## 2. Impianto strutturale

L'edificio poggia su una fondazione a platea in c.a. dello spessore di 35 cm. Nella platea, armata con doppia rete, è previsto un graticcio di gabbie metalliche (con adeguate armature longitudinali e staffe) mutuamente collegato e disposto sotto la perimetrazione delle murature portanti.

La struttura verticale portante è realizzata in muratura armata POROTON® di spessore 30 cm, tranne che per una parete interna di spessore 25 cm, impiegando blocchi POROTON® P800 MA, assemblati con malta a prestazione garantita M10 disposta nei giunti orizzontali e verticali ed utilizzata anche per il riempimento dei vani verticali in cui trovano alloggiamento le barre verticali (Fig. 3). Le barre di armatura ad aderenza migliorata impiegate sono ad alta duttilità tipo B450 C controllate in stabilimento e sono di diametro 16 mm per le armature verticali e 6 mm per le armature orizzontali.



Fig. 3 – Fasi di realizzazione della muratura armata POROTON®: primi corsi di blocchi con armatura verticale “inghisata” nella fondazione ed armatura orizzontale predisposta nel giunto orizzontale. A destra la prima elevazione conclusa, pronta per la realizzazione del cordolo e solaio (si notino i ferri di chiamata per le murature armate del piano primo).

La distribuzione delle armature verticali, riportata in Fig. 4, rispetta i requisiti di normativa per i quali si rimanda al paragrafo 4 della [Guida Muratura Armata](#). Nello specifico, il presente progetto prevede il posizionamento di 3Ø16 per l'angolo (a favore di sicurezza, considerato che il minimo richiesto è di 1Ø16) e l'interasse tra una barra verticale e la successiva è stato mantenuto tra 1,2÷2,5 m (in base alla geometria delle pareti e sempre nel rispetto dell'interasse massimo consentito pari a 4 m). La distribuzione delle barre verticali è dipendente dalla geometria dell'edificio e dalle scelte ed esigenze progettuali dello strutturista. L'armatura orizzontale è realizzata con 2Ø6 annegati nei giunti di malta e disposti ogni 2 corsi di blocchi, dunque ad interasse di 40cm, anche in questo caso nel rispetto dei requisiti di normativa dettagliati nel paragrafo 4 della [Guida Muratura Armata](#) sopra citata.

In Fig. 4 è ben “leggibile” il sistema resistente costituito dalle murature armate predisposte nelle due direzioni principali, per ciascuna delle quali la percentuale di muratura (rapporto tra l'area della sezione resistente delle pareti in una direzione e superficie lorda del piano) si mantiene al di sopra del 4,0% circa.

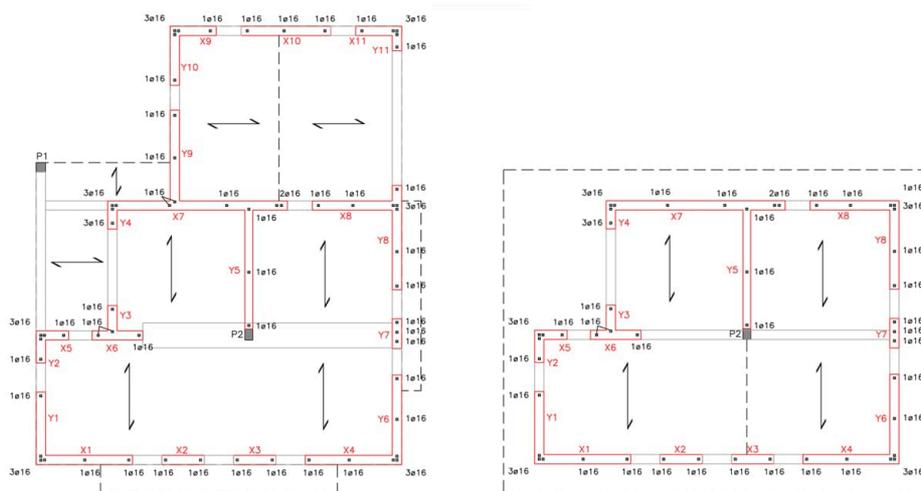


Fig. 4 – Pareti portanti in muratura armata POROTON®, con indicata la distribuzione delle armature e l'orditura dei solai (piano terra e piano primo).

Sono stati predisposti due pilastri in c.a., uno nel portico ed uno interno, con il solo scopo di sostegno statico, in quanto l'intero sforzo sismico è affidato alle sole murature armate POROTON®. In particolare, il disegno architettonico del portico principale ha reso necessario il collegamento iperstatico con l'unico pilastro portante esterno attraverso una travatura di c.a. in modo da rendere efficace il funzionamento in parallelo della struttura portante principale con l'elemento accessorio. Le

dimensioni dei pilastri sono pari a 30×30 cm<sup>2</sup> e l'armatura è a norma di legge. Invece i due pilastri del piccolo portico sul lato nord-est non sono strutturali, perciò non sono vincolati alla struttura soprastante del tettuccio che risulta autosostenuto da idonei elementi d'acciaio inseriti nelle cordolature.

La scala interna è stata realizzata con struttura in c.a. ed il solaio di piano realizzato in calcestruzzo con pignatte di alleggerimento di altezza totale 25 cm e cappa in cls armato da 4 cm, può considerarsi infinitamente rigido. Il solaio è dotato di adeguata cordolatura di c.a. e snellezza a norma di legge. Travi di piano in c.a. di varie dimensioni, sono state inserite a seconda della richiesta progettuale.

La copertura a due falde è in legno con cappa collaborante di cls armato (di tipo alleggerito) da 5 cm, allo scopo di creare un orizzontamento rigido (Fig. 5). È stato impiegato legno lamellare resinoso, tipo Gl24h, classe di servizio 1 e legno massello resinoso, tipo C24, classe di servizio 1. Le travi di colmo sono in legno lamellare di dimensioni 20×44 cm e 20×40 cm rispettivamente per la copertura dell'autorimessa e del corpo residenziale. La struttura portante prevede l'ammorsamento ai cordoli sommitali ed alle travature di colmo della soletta, tramite la connessione alla parte di cls armato con adeguati connettori metallici, prevalentemente vitoni mordenti. La zona del portico, stante l'impossibilità di poter disporre del pilastro che viene interrotto al primo solaio, è stata dotata di una robusta trave d'acciaio (HEB 220) la quale verrà vincolata in modo soprastante a tutto il cordolo di c.a. in cui si innesta: questo in modo da garantire un'efficace vincolo di incastro, oltre che un'adeguata azione di ripartizione del carico sulla sottostante muratura. La carpenteria metallica è realizzata con acciaio tipo S275, con saldature a cordone d'angolo di I<sup>a</sup> classe secondo normativa e collegamenti bullonati con viti classe 8.8, dadi classe 6S (vincoli di fondazione per pilastri).

Le fondazioni e gli elementi in elevazione in c.a. sono realizzati con calcestruzzo tipo C25/30 e barre in acciaio nervate tipo B450 C.



*Fig. 5 – Fasi di realizzazione della cappa in cls alleggerito armata sulla copertura in legno.*

### 3. Progettazione per azioni sismiche con analisi pushover

La costruzione deve avere una vita nominale di almeno 50 anni e rientra nella classe d'uso II, questo comporta una probabilità di superamento nel periodo di riferimento di 50 anni, del 10% per lo SLV. La località in cui è stata realizzata la costruzione, comune di Santa Giustina (BL), ricade in zona sismica 2 e la categoria di sottosuolo è C; infine la categoria topografica è T1. Lo spettro di risposta elastico in funzione dello stato limite analizzato è riportato in Fig. 6. Il fattore di comportamento non è stato impiegato in quanto trattasi di analisi non lineare. L'accelerazione al suolo di ancoraggio dello spettro di risposta allo SLV è pari ad  $a_g S = 0,376 g$ .

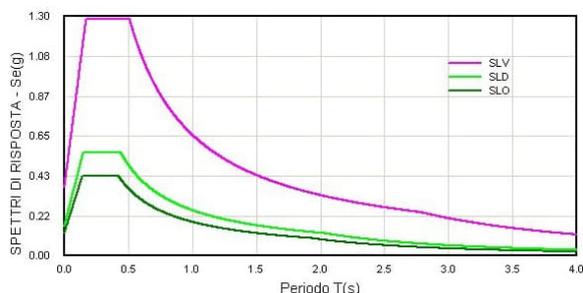


Fig. 6 - Spettro di risposta elastico: SLO  $a_g=0,083g$   $F_0=2,458$   $T_c^*=0,257s$ ; SLD  $a_g=0,109g$   $F_0=2,17$   $T_c^*=0,274s$ ; SLV  $a_g=0,296g$   $F_0=2,415$   $T_c^*=0,341s$ .

Pur essendo di dimensioni contenute, l'edificio non risulta essere semplice dal punto di vista strutturale dato che non è regolare né in pianta né in altezza, e non risponde ai requisiti per essere classificato tra le "costruzioni semplici", secondo quanto riportato al §4.5.6.4 e §7.8.1.9 delle NTC. Pertanto, è stato necessario svolgere una progettazione estesa delle strutture con analisi statica lineare per le azioni non sismiche e con un'analisi modale e successiva analisi non lineare statica cosiddetta "pushover" per le azioni sismiche.

Le verifiche strutturali sono state condotte in modo unitario con il metodo degli stati limite, tramite un modello tridimensionale a telaio equivalente costituito da murature armate POROTON®, cordoli, solai, pilastri e travi Fig. 7.

Com'è immediato osservare le coperture sono riportate come piane, in quanto il software di calcolo non permetteva l'implementazione di piani inclinati, l'imposta degli orizzontamenti è fissata sull'altezza media tra colmo della copertura e punto più basso di imposta della stessa.

I due pilastri e le relative travi sono stati progettati separatamente e sono inserite all'interno del modello solo per portare i carichi gravitazionali, ma senza avere alcun ruolo resistente per assorbire le azioni orizzontali. Allo stesso modo la copertura è dettagliata in tutte le sue parti separatamente, all'interno del modello globale è stato sufficiente inserire gli orizzontamenti, compresa la copertura, come elementi infinitamente rigidi, dato che sono stati progettati in applicazione delle indicazioni ci sui al §7.2.6 delle NTC. Le fondazioni in c.a. sono state progettate separatamente a partire dalle combinazioni delle reazioni vincolari ricavate tramite le analisi statiche non lineari svolte. Il modello globale assume alla base delle murature un vincolo di incastro perfetto.

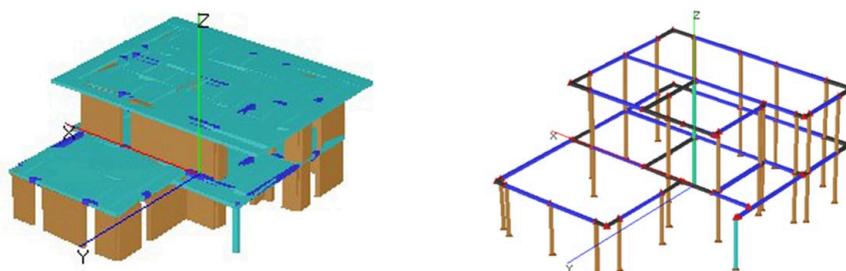


Fig. 7 - Modello tridimensionale e modello a telaio equivalente impiegato per l'analisi statica non lineare.

L'analisi modale svolta preliminarmente per l'identificazione dei modi di vibrare, ha permesso di verificare che il primo modo di vibrare coinvolgesse una massa superiore al 60%, come richiesto al §7.8.1.5.4 delle NTC, la massa partecipante è stata infatti superiore del 74%.

L'analisi statica non lineare fornisce come risultato principale la curva forza di taglio totale alla base - spostamento del punto di controllo in sommità, che permette di svolgere la verifica globale della costruzione. In Fig. 8 è riportata la curva forza-spostamento per la verifica 1 (direzione +X, eccentricità positiva, distribuzione principale), in cui è chiaro che la richiesta di spostamento per lo SLD (linea tratteggiata verde) e per SLU (tratto punto fucsia), sono molto minori della effettiva capacità di spostamento della struttura che raggiunge valori ben più alti anche solo con lo SLO (cerchio verde scuro) e ancor di più con la capacità di spostamento allo SLD (cerchio verde chiaro) e allo SLU (cerchio fucsia).

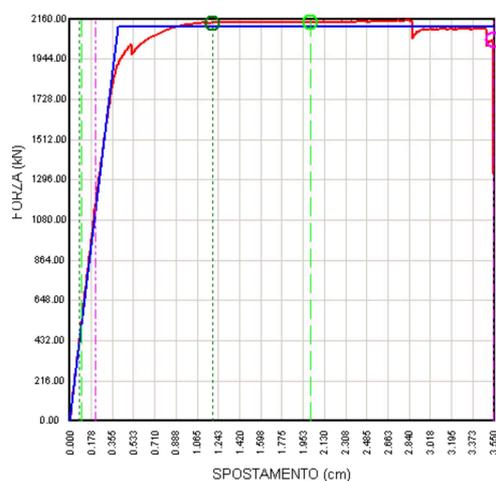


Fig. 8 – Curva forza– spostamento, verifica 1 (Sisma +X, ecc.>0, Distribuzione principale).

Riferendoci sinteticamente alle sole analisi svolte con la distribuzione principale delle azioni e confrontando la richiesta di spostamento con la capacità di spostamento, allo SLD ed allo SLU, riportato in Tab. 1, è possibile osservare come l’impianto strutturale in muratura armata POROTON® permetta all’edificio di superare agevolmente la verifica sismica con ampi margini di sicurezza. La richiesta di spostamento varia infatti tra il 6% ed il 63% della capacità di spostamento che la costruzione è in grado di sviluppare.

La verifica più gravosa allo SLU si ha con sisma in direzione Y e verso negativo, è infatti la verifica 12 a mostrare il massimo rapporto tra richiesta e capacità di spostamento, che raggiunge il 63%. La stessa verifica è la più gravosa anche allo SLD, avendo anche in questo caso massimo rapporto tra richiesta e capacità di spostamento, che stavolta raggiunge solo il 30%.

Tab. 1 – Confronto tra richiesta e capacità di spostamento allo SLD e SLU.

n°	Analisi	SLD			SLU		
		Richiesta di spost.	Capacità di spost.	Rich./Cap.	Richiesta di spost.	Capacità di spost.	Rich./Cap.
1	+X ecc>0	0,101	2,011	5%	0,213	3,545	6%
2	+X ecc<0	0,114	1,701	7%	0,242	3,513	7%
3	-X ecc>0	0,100	1,080	9%	0,211	3,639	6%
4	-X ecc<0	0,110	1,233	9%	0,233	2,371	10%
9	+Y ecc>0	0,159	0,759	21%	0,334	0,759	44%
10	+Y ecc<0	0,167	0,737	23%	0,350	0,737	47%
11	-Y ecc>0	0,176	0,731	24%	0,370	0,731	51%
12	-Y ecc<0	0,219	0,729	30%	0,459	0,729	63%

## 4. Considerazioni finali

La progettazione presentata mostra come la corretta concezione strutturale congiuntamente alle ottime capacità strutturali del sistema muratura armata POROTON® conduca a livelli di sicurezza dell'edificio molto elevati, che si possono facilmente apprezzare dal confronto tra richiesta e capacità di spostamento sulla curva di capacità della struttura ricavata mediante analisi pushover. È emerso che nel peggiore dei casi (verifica 12), la richiesta di spostamento risulta essere solamente il 63% della capacità di spostamento della struttura allo SLU, garantendo ampi livelli di sicurezza rispetto ai più forti terremoti previsti nell'area di progetto. Ancora maggiore è il margine rispetto lo SLD, dato che la richiesta di spostamento risulta essere solamente il 30% della capacità di spostamento, mettendo così ampiamente al riparo la costruzione da danni nel caso di terremoti minori, che ovviamente sono più frequenti.

Questo nonostante la non-regolarità della costruzione sia in pianta che in altezza, che probabilmente avrebbe portato qualcuno ad ipotizzare un giunto sismico tra i due corpi a diversa altezza. Invece l'attento studio dall'organizzazione strutturale ha permesso di realizzare la costruzione come un'unica efficiente entità strutturale.

Negli edifici di piccola dimensione è frequente doversi confrontare con numerose "irregolarità" strutturali, a dispetto della dimensione dell'edificio, che come ben rappresenta l'esempio qui discusso trovano agevole risoluzione impiegando e progettando adeguatamente la struttura in muratura armata POROTON®.

SCHEDE DELL'INTERVENTO	
<b>Oggetto</b>	Progetto e costruzione di una residenza unifamiliare
<b>Località</b>	Santa Giustina (BL) – zona sismica 2
<b>Committente</b>	Dal Molin Sara
<b>Progettista e D.L. architettonico</b>	Geom. Dino Minella
<b>Calcoli e D.L. strutturale</b>	Ing. Nicola Canal
<b>Collaudatore in corso d'opera</b>	Ing. Mirco D'Alpaos
<b>Impresa costruttrice</b>	Setgar Costruzioni Srl
<b>Blocco impiegato</b>	Blocchi POROTON® per Muratura Armata: – P800 MA Brite sp. 30 cm (pareti esterne) – P800 MA sp.25cm (pareti interne)
<b>Produttore laterizi</b>	Fornaci di Manzano, Manzano (UD)

**DATA** 26 Febbraio 2024

**AUTORI** Nicola Canal, Flavio Mosele

**RIFERIMENTO** Newsletter numero 154